

虚拟（增强）现实白皮书

（2018 年）

中国信息通信研究院
华为技术有限公司
京东方科技集团股份有限公司
2019年1月

版权声明

本白皮书版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

致 谢

在工业和信息化部电子信息司的指导下，本白皮书由中国信息通信研究院与华为技术有限公司、京东方科技集团股份有限公司联合撰写，在编写过程中的有关内容得到了中国移动通信有限公司研究院、中国移动通信集团福建有限公司、中国联通网络技术研究院、亮风台、兰亭数字、视博云科技、睿悦信息Nibiru、大朋VR、映维网、7663VR内容平台、子元科技、优望科技、东艺数科、虚拟现实产业推进会(VRPC)等广大伙伴的专业支持。限于编写时间、项目组知识积累与产业尚未完全定型等方面的因素，内容恐有疏漏，烦请不吝指正。

白皮书编写小组：

许志远、陈曦、官政、包孝东、张梦晗、赖晓、何志群、邵刚、张翔、原烽、骆欢、邹斌、邹伟超、李可、郑庆国、章金水、陈银铃、吴篁、张沛、林鹏、廖春元、凌海滨、孙红亮、洪雁菲、孙文博、武振华、牛长峰、曹峻玮、章立、刘卫华、陈修超、陈文聪、刘在野、胡兴中、裘咏晶、经春秋、王梓懿、李木、郭英男

前 言

虚拟现实是新一代的信息通信技术的关键领域，具有产业潜力大、技术跨度大、应用空间广的特点。目前，虚拟现实处于发展初期的部分沉浸体验阶段。预计未来五年，变焦显示与光波导成为热点，显示计算化初见端倪；注视点渲染、混合云渲染快速升温，端云协同、软硬耦合的精细化渲染成为趋势；网联式云化虚拟现实加速发展，5G 赋能云 VR；眼球追踪成为焦点，多感官交互技术路径多元化；内容交互性不断提高，助推媒体采编播创新。此外，以内容应用、终端器件、网络平台和内容生产为重点领域的产业生态初具规模，内容与特定平台解耦加速生态成形，人工智能对虚拟现实的影响轨迹逐渐明晰，知识产权竞争态势趋于激烈，规模化应用试点开始落地。当前，我国各地积极出台虚拟现实专项政策，产业发展取得了较大成果，但也存在一些问题与挑战。技术研发缺乏针对性与原创性，对关键技术产业化进程敏感性不强；缺少富于产业影响力的优质内容平台，产业融合创新程度不足；应用推广以展厅观摩式为主，示范辐射能力不高。针对这一现状，我国应紧抓 5G 与人工智能机遇期，突破业界惯有展厅级、孤岛式、小众性、雷同化的虚拟现实发展瓶颈，坚持走群众路线，强化技术预研与趋势预判，提高创新资源利用效率，开展规模化应用试点，探索具备落地潜力的解决方案，推动产业集聚融合，优化扶持政策，深化发展支撑环境，实现产业级、网联式、规模性、差异化的虚拟现实普及之路。

目 录

一、发展背景	1
二、关键技术趋势	6
（一）现阶段技术发展进程处于部分沉浸期	6
（二）近眼显示：变焦显示与光波导成为热点，显示计算化初见端倪	7
（三）渲染处理：注视点渲染与混合渲染快速升温，端云协同、软硬耦合的精细化渲染成为趋势	12
（四）网络传输：网联式云化虚拟现实加速发展，5G 赋能云 VR	18
（五）感知交互：眼球追踪成为焦点，多感官交互技术路径多元化	27
（六）内容制作：内容交互性不断提高，助推媒体采编播创新	32
三、产业发展趋势	37
（一）虚拟现实产业初具规模	37
（二）投资趋缓表明虚拟现实进入理性发展阶段	40
（三）内容与特定平台解耦加速生态成形	44
（四）人工智能对虚拟现实的影响轨迹逐渐明晰	46
（五）知识产权竞争态势趋于激烈	48
（六）5G 助推虚拟现实业务繁荣	52
四、典型应用案例分析	53
（一）云化虚拟现实催化应用落地普及	53
（二）云 VR 平台试商用案例	55
五、我国发展虚拟（增强）现实产业面临的问题及建议	60
（一）我国面临的问题	60
（二）发展建议	67

图表索引

图 1 VR 与 AR 功能场景示意图	2
图 2 虚拟现实终端出货量份额	3
图 3 虚拟现实技术架构	4
图 4 虚拟现实技术要求比照示意	4
图 5 虚拟现实技术树	5
图 6 我国各地市虚拟现实产业政策情况	6
图 7 虚拟现实沉浸体验阶梯	7
图 8 虚拟现实沉浸体验分级	7
图 9 虚拟现实近眼显示技术产业化进程	8
图 10 虚拟现实近眼显示技术路标	11
图 11 虚拟现实与传统内容的渲染负载对比参考	13
图 12 虚拟现实渲染处理技术产业化进程	14
图 13 虚拟现实渲染处理技术路标	17
图 14 虚拟现实精细化渲染技术趋势示意	18
图 15 虚拟现实网络传输技术产业化进程	19
图 16 虚拟现实网络传输技术路标	26
图 17 基于 MEC 平台实现 VR 直播	27
图 18 虚拟现实感知交互技术产业化进程	28
图 19 虚拟移动领域各类细分技术路线	32
图 20 虚拟现实感知交互技术路标	32
图 21 虚拟现实内容制作技术产业化进程	34
图 22 虚拟现实内容制作技术路标	36
图 23 中国虚拟（增强）现实产业地图	38
图 24 虚拟现实产业结构	39
图 25 全球虚拟现实市场规模（按终端形态划分）	39
图 26 全球虚拟现实市场规模（按产业结构划分）	40
图 27 全球虚拟现实风险投资市场情况	41

图 28 全球虚拟现实风险投资情况（按 VR/AR 终端业务形态划分）	42
图 29 全球虚拟现实风险投资情况（按投资领域划分）	43
图 30 全球虚拟现实风险投资情况（按地域划分）	44
图 31 跨多品牌终端平台——OPENXR	46
图 32 WebXR 与 OpenXR 关联	46
图 33 虚拟现实各国专利申请量情况	49
图 34 全球虚拟现实知识产权热点领域	50
图 35 专利申请人类类型对比图	50
图 36 福建移动全球首个运营商云 VR 业务试商用发布会	56
图 37 福建移动云 VR 平台架构	57
图 38 福建移动云 VR 栏目内容设计布局	57
图 39 福建移动云 VR 家庭网络 DAA 方案	58
图 40 福建移动云 VR 福州地区“头号玩家”招募 H5 页面	60
图 41 近眼显示国内外发展梯队视图	63
图 42 渲染处理国内外发展梯队视图	64
图 43 网络传输国内外发展梯队视图	65
图 44 感知交互国内外发展梯队视图	66
图 45 内容制作国内外发展梯队视图	67

一、发展背景

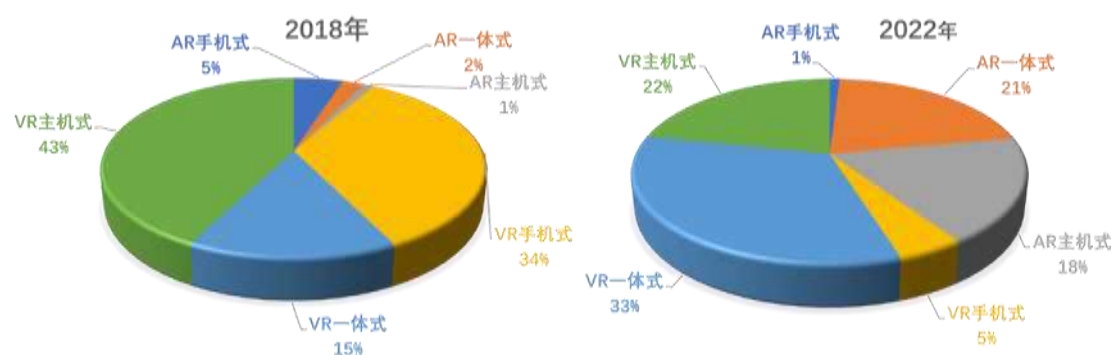
作为新一代人机交互平台，虚拟现实聚焦身临其境的沉浸体验，强调用户连接交互深度而非连接广度（数量）。虚拟现实由来已久，钱学森院士称其为“灵境技术”，指采用以计算机技术为核心的现代信息技术生成逼真的视、听、触觉一体化的一定范围的虚拟环境，用户可以借助必要的装备以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互作用、相互影响，从而获得身临其境的感受和体验。随着技术和产业生态的持续发展，虚拟现实的概念不断演进。业界对虚拟现实的研讨不再拘泥于特定终端形态，而是强调关键技术、产业生态与应用落地的融合创新。本白皮书对虚拟（增强）现实（Virtual Reality, VR/Augmented Reality, AR）内涵界定是：借助近眼显示、感知交互、渲染处理、网络传输和内容制作等新一代信息通信技术，构建身临其境与虚实融合沉浸体验所涉及的产品和服务。早期学界通常在 VR 研讨框架内下设 AR 主题，随着产业界在 AR 领域的持续发力，部分业者将 AR 从 VR 的概念框架中抽离出来。两者在关键器件、终端形态上相似性较大，而在关键技术和应用领域上有所差异。VR 通过隔绝式的音视频内容带来沉浸感体验，对显示画质要求较高，AR 强调虚拟信息与现实环境的“无缝”融合，对感知交互要求较高。此外，VR 侧重于游戏、视频、直播与社交等大众市场，AR 侧重于工业、军事等垂直应用。从广义来看，虚拟现实包含增强现实，狭义而言彼此独立，如后文无特别区分

说明，本白皮书采用广义界定。



图 1 VR 与 AR 功能场景示意图

虚拟现实终端出货量持续提升，AR 与一体式增长显著。2018 年全球虚拟现实终端出货量约为 900 万台，其中 VR、AR 终端出货量占比分别 92%、8%，预计 2022 年终端出货量接近 6600 万台，其中 VR、AR 终端出货量占比分别 60%、40%，2018-2022 五年期间虚拟现实出货量增速约为 65%，其中 VR、AR 终端增速分别为 48%、140%。此外，随着 Facebook 的 Oculus Go、Quest、联想的 Mirage Solo、Pico、大朋等一体机的发展，一体式有望成为虚拟现实主要终端形态，出货量份额将从 2018 年 17% 快速发展至 2022 年 53% 的水平。



来源：IDC

图 2 虚拟现实终端出货量份额

虚拟现实涉及多类技术领域，可划分为五横两纵的技术架构。由于虚拟现实所固有的多领域交叉复合的发展特性，多种技术交织混杂，产品定义处于发展初期，技术轨道尚未完全定型。本白皮书参考国家部委有关虚拟现实发展指导意见，结合 2018 年虚拟现实技术动态，对《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》中提出的五横两纵技术架构进一步更新完善。“五横”是指近眼显示、感知交互、网络传输、渲染处理与内容制作，“两纵”是指 VR 与 AR，两者技术体系趋同，且技术实现难度均高于手机等传统智能终端，如手机等设备在芯片、屏幕等核心领域的性能过剩成为虚拟现实的性能门槛。总体上看，VR 通过对现有手机技术体系的“微创新”实现产业化，AR 更多需要从无到有的技术储备与重大突破，其技术实现难度高于 VR，这一差异主要反映在近眼显示与感知交互领域。对 VR 而言，近眼显示聚焦高画质的视觉沉浸体验。感知交互侧重于多通道交互。由于虚拟信息覆盖与外界隔绝的整个用户视野，重点在于交互信息的虚拟化。对 AR 而言，由于用户大部分视野呈现真实场景，如何识别和理解现实场景和物体，

并将虚拟物体更为真实可信的叠加到现实场景中成为 **AR** 感知交互的首要任务。此外，由于现有技术方案在分辨率（清晰程度）、视场角（视野范围）、重量体积（美观舒适）等方面的潜在冲突，除保证视觉体验外，如何满足类似眼镜全天佩戴便捷成为 **AR** 近眼显示领域的重大技术挑战。



图 3 虚拟现实技术架构



图 4 虚拟现实技术要求比照示意

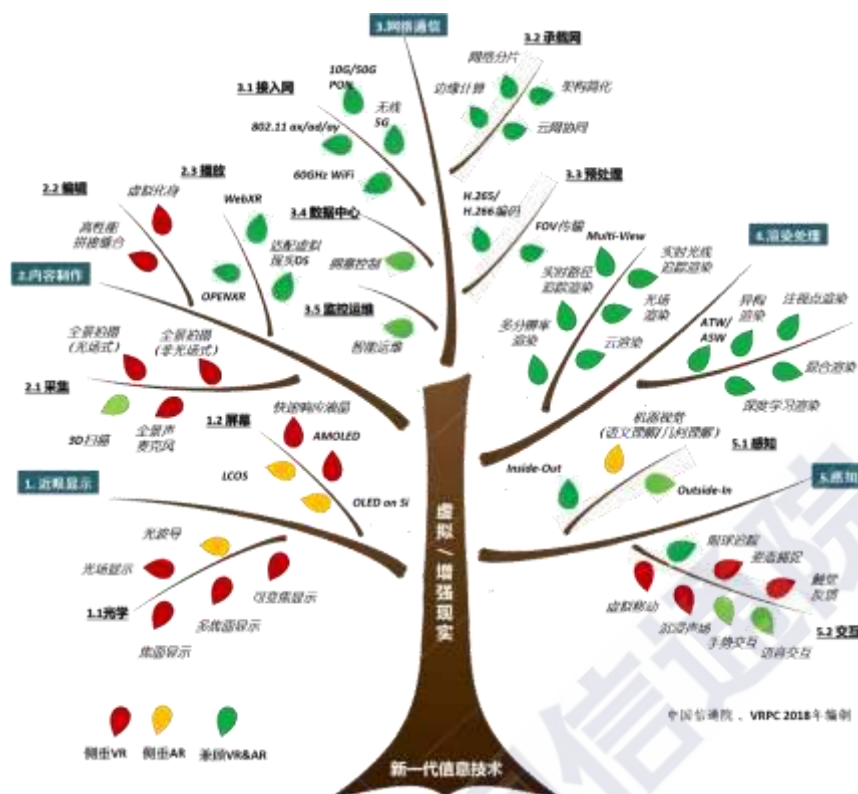


图 5 虚拟现实技术树

我国积极推动虚拟现实发展。虚拟现实已被列入“十三五”信息化规划、互联网+等多项国家重大文件中，工信部、发改委、科技部、文化部、商务部出台相关政策。此外，各省市地方政府从政策方面积极推进产业布局，已有十余地市相继发布针对虚拟现实领域的专项政策。北京市发布《关于促进中关村虚拟现实产业创新发展的若干措施》，提出以中关村石景山园区为中心，推动技术研发、成果转化，产业促进服务平台等措施；青岛市发布《崂山区促进虚拟现实产业发展实施细则》，加大引入科研机构 and 重点企业，鼓励人才的引进和培养，并以贷款贴息扶持、政府购买服务方式支持产业发展；成都市发布《成都市虚拟现实产业发展推进工作方案》，提出打造内容制作运营高地、

软件创新研发高地和硬件研发制造核心的“两高地、一核心”产业布局，并发布相关行业标准；南昌市出台《关于加快 VR/AR 产业发展的若干政策（修订版）》，以红谷滩新区 VR 产业园及新建区 AR 硬件产业园为载体，通过奖励、补贴、基金等多种资金扶持方式带动技术研发、企业招引、创新创业、应用示范、市场推广、人才引进等全面发展；福州市发布《关于促进 VR 产业加快发展的十条措施》，依托长乐产业园，从配套设施、创新创业、专项申报等方面推动产业发展。



图 6 我国各地市虚拟现实产业政策情况

二、关键技术趋势

（一）现阶段技术发展进程处于部分沉浸期

业界对虚拟现实的界定认知由特定终端设备向联通端管云产业链条的沉浸体验演变。参考国际上自动驾驶汽车智能化程度分级以及对《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》中分级标准修订增补，将虚拟现实技术发展划分为如下五个阶段，不同发展阶段对应相应体验层次，目前处于部分沉浸期，主要表现为 1.5K-2K 单眼分辨率、100-

120 度视场角、百兆码率、20 毫秒 MTP 时延、4K/90 帧率渲染处理能力、由内向外的追踪定位与沉浸声等技术指标。



来源：根据中国信通院《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》修订

图 7 虚拟现实沉浸体验阶梯

技术体系	技术指标	体验层级	初级沉浸(EI)	部分沉浸(PI)	深度沉浸(DI)	完全沉浸(FI)
近眼显示	单眼屏幕分辨率门槛		接近1K	1.5K-2K	3K-4K	≥ 8K
	视场角 (FOV)		90-100 °	100-120 °	140 °左右	200 °
	角分辨率 (PPD)		≤15	15-20	30左右	60左右 (人眼极限)
	可变焦显示		否	否	是	是
内容制作	360全景视频分辨率 (弱交互)		4K	8K	12K	24K
	游戏等内容分辨率 (强交互)		2K	4K	8K	16K
	虚拟化身		/	/	虚拟化身	精细化虚拟化身
网络传输	码率 (Mbps)——弱交互		≥ 40	≥ 90	≥ 290 / ≥ 160	≥ 1090 / ≥ 580
	码率 (Mbps)——强交互		≥ 40	≥ 90	≥ 360	≥ 440
	MTP时延 (ms)		20	20	20	20
	移动性		有线连接	有线/无线并存	无线	
渲染处理	渲染计算		2K / 60 FPS	4K / 90 FPS	8K / 120 FPS	16K / 240 FPS
	渲染优化		/	/	注视点渲染	
感知交互	追踪定位		Outside-In	Inside-Out		
	眼动交互		/	/	眼球追踪	
	声音交互		/	沉浸声	个性化沉浸声	
	触觉交互		/	触觉反馈		精细化触觉反馈
	移动交互		/	虚拟移动 (行走重定向等)		高性能虚拟移动

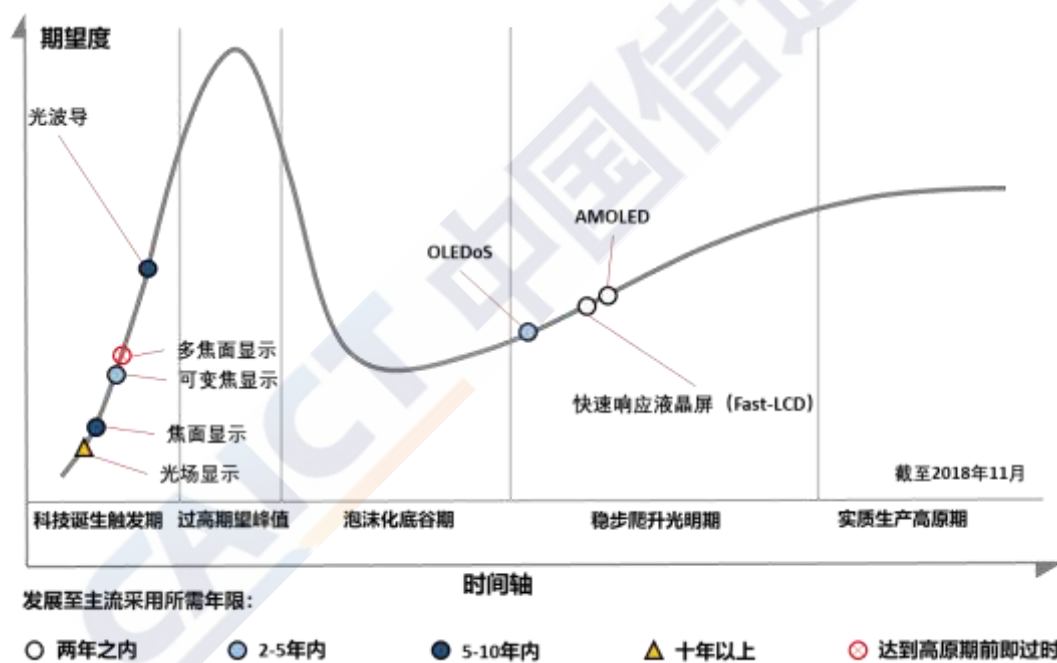
来源：中国信通院

图 8 虚拟现实沉浸体验分级

（二）近眼显示：变焦显示与光波导成为热点，显示计算化

初见端倪

相比虚拟现实技术体系中的其他领域，近眼显示技术轨道呈现螺旋上升的发展态势，即近眼显示关键体验指标间的权衡取舍与 VR/AR 的差异化功能定位成为推动各类近眼显示技术演进突破的主要动因。其中，高角分辨率、广视场角、可变焦显示成为核心发展方向，VR 近眼显示技术侧重提高视觉沉浸体验的发展路线，AR 侧重低功耗、全天可佩戴、外观轻便的近眼显示发展路线。借鉴 Gartner 技术成熟度曲线呈现形式，分析总结如下各类近眼显示技术产业化进程。



来源：京东方

图 9 虚拟现实近眼显示技术产业化进程

高性能 LCD 与 OLED 技术保持虚拟现实近眼显示主导地位，可变焦显示与光波导有望在五年左右成为主流。其中，快速响应液晶、AMOLED 与 OLEDs 技术均为成熟的可量产屏幕技术，近年内依然是虚拟现实的主流显示器件，由于虚拟现实市场自身尚需培养发展，因此

以上技术处于稳步爬升光明期；**光波导（Optical waveguide）**在 AR 领域的技术发展前景明确，由于 AR 比之 VR 处于更为早期市场发展阶段，且预计在中近期难以大规模普及。光波导技术中各类技术路线间存在明显的优势和短板，目前尚未确立主导地位技术方案。此外，由于受到基础物理定律的限制，光波导要实现重大技术突破将面临巨大的研发困难，相关产品难以单独作为完整终端产品，须配套技术和零部件才可能产出被市场认可的 AR 终端，而有关配套技术和零部件尚有相当比例需要进一步完善，因此高性能光波导从科技诞生触发期发展至主流采用所需年限约为 5-10 年；**多焦面显示技术（Multi-focal）**以 Magic Leap One 为代表，根据虚拟物体在虚拟空间中的远近位置，将其对应投影至两个及以上焦平面。由于该技术存在无法实现连续焦距变化，实现所需光学系统复杂，光学系统复杂程度且制造成本随焦面数量增加而成指数级增加等诸多不足，相比起其他可连续变焦或光场显示技术，具备一定过渡性质，预判多焦面显示技术可能在达到高原期前即会过时；**可变焦显示器技术（Varifocal）**以 Oculus Half Dome 原型机为代表，采用机械装置前后移动屏幕的位置来实现图像的焦距变化，配合眼动追踪、注视点渲染等多种软硬件技术，模拟出人眼在观察远近不同物体时发生的屈光调节和双目辐辏调节过程。可变焦显示器大量采用已成熟的技术作为实现基础，兼顾技术实现性和量产可行性，将成为下一代高端 VR 终端标配近眼显示技术，预计 2-5 年内成为主流；**焦面显示器技术（Focal Surface）**使用光相位调制器 SLM 把

图像深度信息添加到普通 2D 屏幕画面中，让其在观察方向上模拟出图像的远近深度信息，可作为近似的光场显示技术，目前 Oculus 将其定义为下二代 VR 显示的重要发展方向，目前该技术存在结构复杂，所需 SLM 价格昂贵，图像分辨率、显示视场偏小等技术瓶颈有待攻克，预计 5-10 年内有望成为主流；当前多种光场显示（Light Field）技术方案停留在实验室阶段，其技术路径和配套设备存在大量研发瓶颈，中近期均无法量产普及。由于光场显示技术可以完全契合自然情况下人眼观察外界的原理，成为近眼显示领域追求的终极显示技术，预计十年以上才可能发展至主流采用。综上，现阶段 VR 和 AR 终端形态的差异致使未来的相当长时间内近眼显示技术将遵循不同的发展路径，VR 将长期使用 LCD、OLED 类型屏幕作为显示器件，近两年内须重点关注 1000ppi 以上的 AMOLED、Fast-LCD，5 年内须重点关注可变焦显示器技术。AR 分为图像源器件（OLEDoS、LCoS）和显示光学器件（如光波导、折返光学透镜、自由曲面棱镜等），近 2-5 年内须重点关注 OLEDoS 和光波导显示技术的发展和实际应用。



来源：根据中国信通院《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》修订

图 10 虚拟现实近眼显示技术路标

可变焦显示、光波导技术成为 2018 年近眼显示前沿领域聚焦热点。从人眼双目视觉特性看，眩晕感主要源自三方面。一是显示画质，纱窗、拖尾、闪烁等过低的画面质量引发的视觉疲劳。二是视觉与听觉、触觉、前庭系统等其他感官通道的冲突。三是辐辏调节冲突（Vergence Accommodation Conflict, VAC），由于双目视差在产生 3D 效果的同时，造成双目辐辏调节与视觉屈光调节不匹配，头显难以如实反映类似真实世界中观看远近物体时焦距与辐辏的对应变化关系和视网膜模糊效果。目前，对于产生眩晕感的前两类因素，业界已有可量产的解决方案，然而，针对第三类挑战的产业实践几近空白。可变焦显示成为此类眩晕的“第一颗解药”，2018 年 Oculus 研发出采用可变焦显示技术的原型机 Half Dome，解决了辐辏调节冲突，即通过

眼动追踪获得使用者当前瞳孔视觉中心的位置，从而计算出使用者当前注视点位置以及所关注的虚拟物体在虚拟空间中距离使用者主视角摄像机的距离。通过机械装置前后移动屏幕改变物距及光学系统的焦平面位置，使像距与上述的距离相对应，由此人眼在 VR 头显中观察到物体的像距同虚拟世界中与该物体的距离（近似）相等，当注视点的物距发生变化时，对应头显光学系统的像距发生变化，人眼随之进行屈光调节，（近似）对应人眼的辐辏调节。注视点渲染将注视点以外区域图像模糊化渲染，模拟出人眼对焦产生的视网膜模糊效果，与上述过程配合，欺骗大脑实现辐辏-屈光调节生理上的仿真。

业界积极探索显示计算化之路，虚拟现实近眼显示有望更加智能。

现阶段虚拟现实终端中的显示器仅作为图像输出设备，本身不参与计算处理，这与电视、手机等传统终端显示器的功能定位一致，但针对更优的虚拟现实进阶体验，近眼显示具备极大的发展潜力。基于显示器内计算这一全新技术方向，近眼显示不仅呈现内容，还可计算用户状态。例如，为解决上文提及 VAC 这一产业痛点，英伟达等研发了显示器内计算的原型机，即在虚拟现实近眼显示器内进行两类计算，一是眼球追踪，二是为渲染动态的预畸变图像进行的光路计算。

（三）渲染处理：注视点渲染与混合渲染快速升温，端云协同、软硬耦合的精细化渲染成为趋势

渲染处理领域的主要矛盾表现为用户更高的体验需求与渲染能力的不足。当前，面向虚拟现实的渲染处理面临着“小马拉大车，既

“要马儿吃得少，又要跑得快”的技术挑战。首先，相比主流游戏画面渲染与电影制作渲染的负载要求，时下虚拟现实渲染负载（部分沉浸体验级 PI）将分别提高七倍与两倍，相当于 4K 超高清电视每秒像素吞吐量。若以完全沉浸级 FI 乃至附带现有电影视觉保真度为渲染目标，虚拟现实渲染负载将在 PI 水平上再分别提高五十倍甚至数十万倍。其次，为获得即时反馈，传统视频游戏用户交互延迟须低于 150ms，而虚拟现实 MTP 时延要求低于 20ms。最后，对于移动平台固有的功耗约束，虚拟现实渲染处理领域所面临的技术挑战正在进一步放大。因此，更优的静态画质、视觉保真度、渲染时延与功耗开销成为该领域的技术动因。虽然可以通过堆叠算力来提高渲染质量，但这一不具备成本经济性的技术路线将迟滞虚拟现实产业发展。目前，业界聚焦面向虚拟现实的注视点渲染、深度学习渲染与混合云渲染等热点领域，旨在探索软硬耦合的精细化渲染之路。

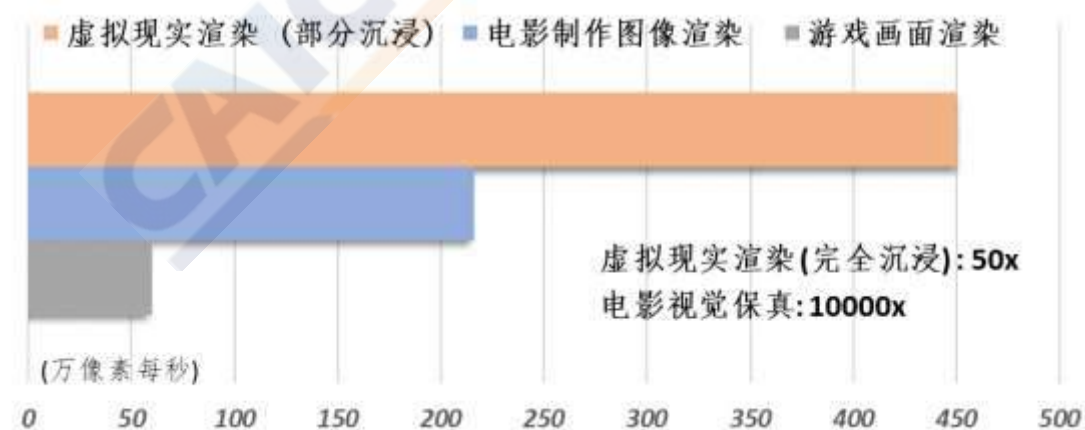
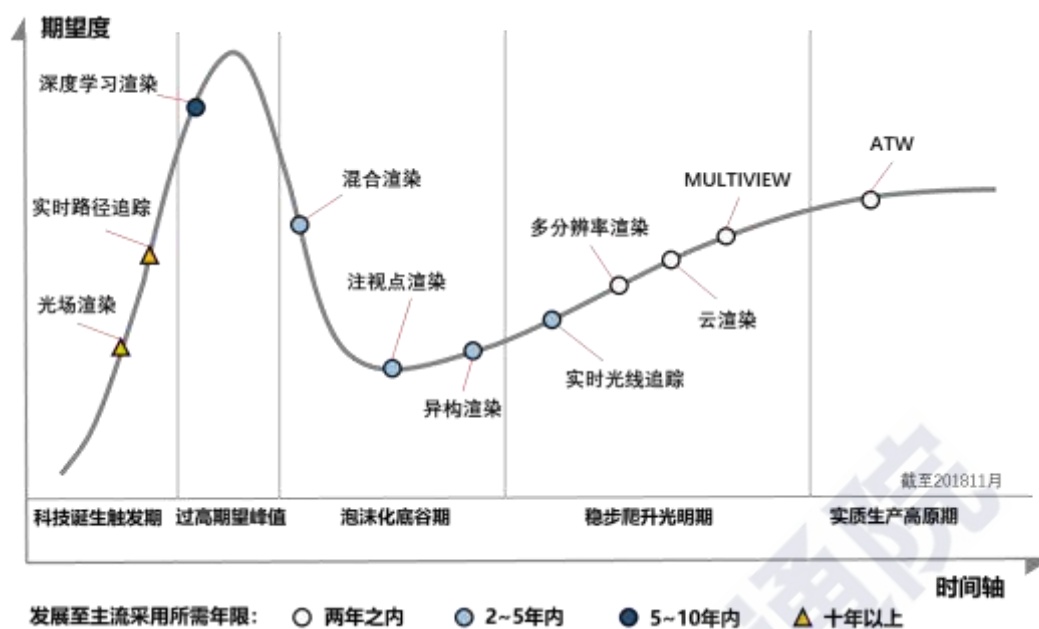


图 11 虚拟现实与传统内容的渲染负载对比参考



来源：中国信通院

图 12 虚拟现实渲染处理技术产业化进程

在渲染时延帧率以及功耗开销方面，注视点渲染、云渲染、异构渲染、混合渲染等有望在五年内成为虚拟现实领域主流渲染技术。其中，异步时间扭曲（Asynchronous Time Warp, ATW）显著改善了用户转头期间难以及时渲染生成复杂内容所造成的画面卡顿问题，该技术由 Facebook 在 2016 年推出，现已成为虚拟现实渲染标配，2017 年国内厂商全志推出了包含 ATW 功能的虚拟现实芯片 VR9。MultiView 渲染利用左右眼图像信息相近的原理，由 CPU 向 GPU 提交一次指令即可完成双目渲染，助推渲染帧率提升。目前 ARM 在 T8xx、Mali-G7x 及 Mali-G5x 系列芯片、英伟达在 Pascal 架构中均集成了该渲染技术。多分辨率渲染基于 MultiView 技术，可渲染生成同一屏幕内差异化分辨率的内容，从而降低渲染负载，2018 年高通推出了集成多分辨率渲染的虚拟现实专用芯片 XR1。注视点渲染（Foveated Rendering）基于

人眼由中心向外围视觉感知逐渐模糊的生理特性，搭配眼球追踪技术，在不影响用户体验的情况下，显著降低注视点四周的渲染负载，最多可减少近 80% 画面渲染。除注视点渲染突出的技术成效外，由于该技术与 **MultiView**、多分辨率渲染、眼球追踪、实时路径追踪、注视点传输以及可减少视觉伪影的注视点图像处理等热点技术交织关联，注视点渲染已成为 **Facebook**、谷歌、微软等研发力量重兵集结的必争之地，产业化进程持续加速，预计 2-5 年内望成为主流。**云渲染**旨在帮助用户在低配头显上实现渲染能力更强的 **PC** 级虚拟现实沉浸体验，通过降低虚拟现实终端购置成本，推动用户规模快速增长。由于该技术采用云端渲染处理、终端交互呈现的技术架构，对于虚拟现实这一时延敏感型业务，新增时延对于用户体验潜在影响较大。**GPU** 只是一只脚（机器学习）踏入云计算的门槛，另一只脚（图形渲染）还在传统主机上，云渲染技术将加速 **GPU** 云化进程，其发展有赖于相关网络传输技术、**GPU** 虚拟化（**GPU** 计算资源共享）、低时延编解码等领域的协同创新。目前，英伟达、微软、谷歌、英特尔等纷纷布局，我国三大运营商积极尝试。**混合渲染**旨在解决云渲染所引入的新增时延以及编码压缩造成的画质损失，将虚拟现实渲染处理拆分为云端与本地渲染协同进行，利用云端强大的渲染与存储能力实现静态画质与视觉保真度的提升，同时基于本地渲染满足时延控制要求，其研究焦点在于如何拆分虚拟现实渲染任务流，清华大学研究团队通过优化分配部分前景交互和背景环境的渲染负载，显著提升了移动 **VR** 渲染效率。异

构渲染与混合渲染发展思路相仿，即将本地渲染处理拆分至 GPU 与其他计算架构单元协同进行。如为避免与内容渲染竞争 CPU、GPU 资源，ARM 计划将虚拟现实渲染处理中的光学畸变与色散校正从 GPU 卸载到定位为其协处理器的显示处理器上（Display Processing Unit, DPU），从而优化渲染时延，降低渲染功耗。**深度学习渲染**成为人工智能在图像渲染领域的重要技术创新，可实现图像降噪、抗锯齿以及因注视点渲染带来的渲染负载减少。目前，学术界与产业界正在越来越多地投入深度学习渲染这一新兴热点中，但预计五年内进入技术实质应用期的可能性不高。

在静态画质以及视觉保真度方面，**光场渲染**不同于现仅有展示物体表面光照情况的 2D 光线地图，光场可以存储空间中所有光线的方向和角度，从而产出场景中所有表面的反射和阴影，目前光场信息的采集、存储及传输面临着诸多基础研究挑战，光场渲染尚处于初期探索阶段，预计十年以上有望进入主流。**实时光线追踪**无须阴影地图，通过直接渲染镜头中的桶形失真图像，无须再对镜头畸变进行处理，从而消除有关延迟障碍。此外，由于无须光栅化中 3D 到 2D 图像的平面投影，光线追踪技术可解决 VR 视场投影问题，即直接在 360 度球形视场内渲染图像。光线追踪支持三角形、点、光场、乃至文本等混合图元，因而在内容优化方面更加灵活。2018 年英伟达发布第八代 GPU 架构 Turing，Turing 架构配备了名为 RT Core 的专用光线追踪处理器，能够以高达每秒 10 Giga Rays 的速度对光线和声音在 3D 环境

中的传播进行加速计算,将实时光线追踪运算加速至 Pascal 架构的 25 倍,并以高出 CPU 30 多倍的速度进行电影效果的最终帧渲染。随着实时光线追踪开发生态逐渐完善,预判五年内有望成为技术主流。**实时路径追踪**可进一步提高图像的视觉保真度,业界现已可以进行实时光线追踪,但路径的实时追踪仍然存在极大挑战。由于当前电影领域路径追踪的计算负载约为光线追踪的一万倍,虽然学界尝试采用注视点渲染及深度学习渲染降噪,但预计该技术需要十年以上进入主流。



来源：根据中国信通院《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》修订

图 13 虚拟现实渲染处理技术路标

虚拟现实渲染处理由粗放式向精细化渲染方向发展。虚拟现实画面渲染负载与时延要求数倍高于传统游戏,算力堆叠这一粗放式的渲染方式难以在渲染质量、时延与成本间取得平衡,精细化渲染成为业界主攻方向。从渲染质量上看,精细化渲染趋势呈现为分辨率、帧率等静态画质的持续提升,以及虚拟现实用户对动态光影等更高视觉保

真度的追求；从渲染性能上看，反映出对渲染负载的差异化处理，以及渲染时延与功耗的约束控制；从技术创新上看，表现为端云协同的混合渲染以及软硬耦合的渲染优化。例如，相比传统游戏，面向虚拟现实的精细化渲染将计算扩展到云端，有望消除现有渲染管线中诸多时延障碍，可借助注视点渲染降低光栅化阶段的负载压力，深度学习渲染改善后处理阶段的抗锯齿效果，异构渲染分担畸变校正，异步时间扭曲简化整个渲染管线，从而压缩渲染时延与功耗。

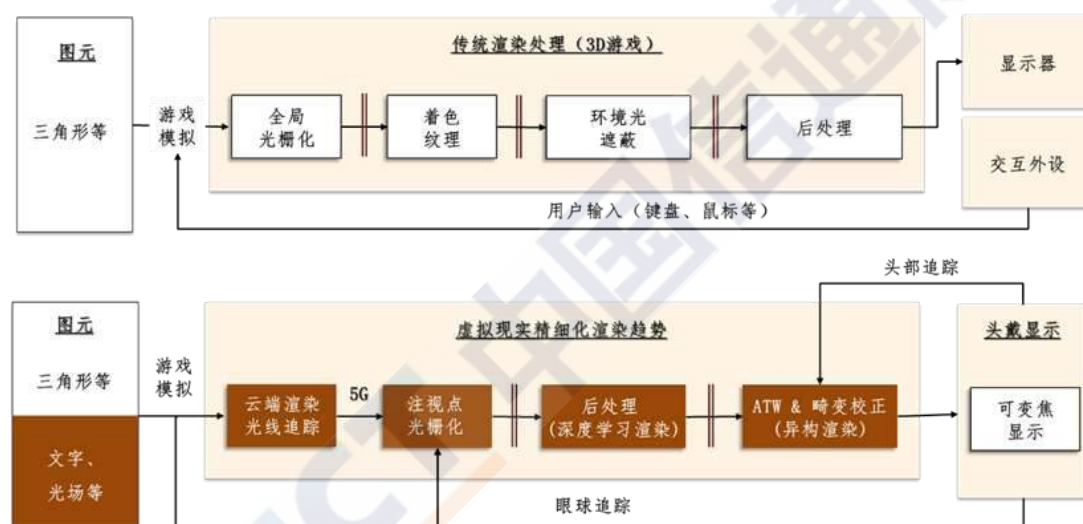
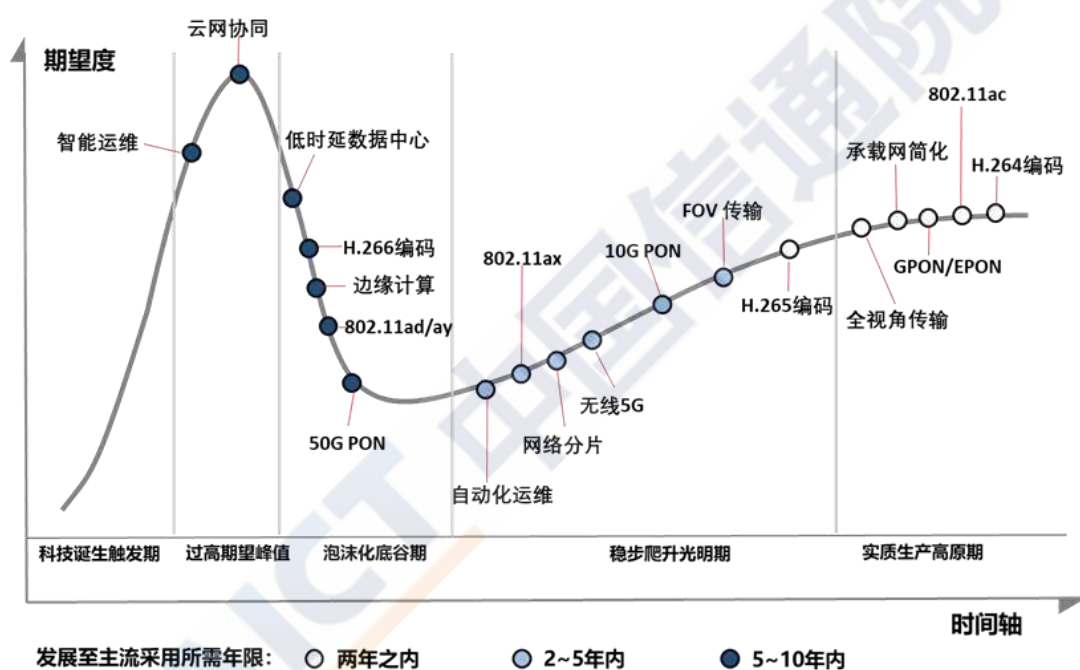


图 14 虚拟现实精细化渲染技术趋势示意

（四）网络传输：网联式云化虚拟现实加速发展，5G 赋能云 VR

与近眼显示领域不同，面向虚拟现实的网络传输强调基于既定技术发展轨道的“微创新”，即针对虚拟现实带宽、时延双敏感的业务特性，优化适配各类网络传输技术，弥合潜在技术断点，打破当前“单机版”的发展定势，探索网联式云化虚拟现实技术路径，旨在保证不断进阶视觉沉浸性与内容交互性的同时，着力提升用户使用移动性，

降低大众软硬件购置成本，加速虚拟现实普及推广。与 VR 相比，由于 AR 侧重与真实环境的人机交互，须将摄像头捕捉到的图片/视频上传云端，云端实时下载需要增强叠加显示的虚拟信息，因此需求更多的上行带宽。鉴于虚拟现实网络传输涉及接入网、承载网、数据中心、网络运维与监控及投影、编码压缩等技术领域，有关技术产业化进程如下。



来源：华为 iLab 实验室

图 15 虚拟现实网络传输技术产业化进程

在接入网方面，Wi-Fi 6、5G、10G PON 有望在五年内成为面向虚拟现实业务的主流传输技术。其中，Wi-Fi 技术可实现虚拟终端的移动化（无绳化），同时技术相对成熟、应用成本低，网络改造小。在家庭无线网络中，802.11n 同时支持 2.4GHz 和 5GHz 频段，802.11ac 支持 5GHz 频段。基于 802.11ac 的 Wi-Fi 在 80MHz 频谱上通过 4x4 MIMO、

Beamforming 等技术可实现最大 1.7Gbps 空口速率，在无干扰的情况下，可满足虚拟现实良好体验。目前，我国开放了 3 个 80Mhz 信道，随着家庭 5G Wi-Fi 普及，同频与邻频干扰情况日趋严重，影响 VR 高带宽低时延体验需求。基于 802.11ax 的 Wi-Fi6 技术引入新的 8x8 MIMO、OFDMA、1024 QAM 等新特性，具备有更优抗干扰能力、传输速率与并发能力，可处理来自多个 VR 用户的不同类型的流量，当前标准基本定稿，预计 2019 年开展认证测试。基于 802.11ad 的 WiGig 技术可在短距离内提供超高带宽和极低的延迟的双向数据通路，Intel 现已推出相关产品，可在主机和 VR 头显间完成无压缩的视频传输，其后续标准 802.11ay 具有更高传输速率与更远传输距离，可为虚拟现实极致体验的无线传输提供技术基础，当前标准尚在研讨阶段。固定宽带 PON 接入在整个网络中起着对家庭网络的接入和汇聚的作用，成为运营商最靠近用户的网络。当前已规模部署的 FTTH 技术包括 EPON 和 GPON，EPON 仅能提供 1Gbps 带宽接入，不适宜虚拟现实业务部署。GPON 技术可提供 2.5Gbps 带宽接入，时延小于 2ms，能够满足少量 VR 用户承载。为满足 VR 用户规模化发展，须将 EPON/GPON 升级到 10G EPON/GPON。随着 VR 体验持续进阶，在完全沉浸阶段（24K 全景内容分辨率），单用户 VR 带宽需要达到 Gbps，10G PON 难以满足要求，须向更高速率的 PON 技术演进。从当前产业进程看，IEEE 802.3 已着手研究单波长 25G PON、双波长叠加的 50G PON 和四波长叠加的 100G PON 标准，四波长叠加的 100G PON 因技术难度过

高，IEEE 现已去掉 100G 项目目标，仅保留 25G PON 和双波长叠加的 50G PON。由于 25G PON 和 10G PON 容量接近，从 10G 升至 25G 带宽改善颗粒较小，且基于双波长堆叠的 2×25G 成本经济性低于单波 50G，因而不适合作为 10G PON 的升级路线。业界综合考虑网络远期需求、建网成本等因素，在 2018 年 2 月 ITU-T SG15 全会通过单波长 50G PON 标准研究立项，计划于 2020 年标准化。5G 将改变移动业务的发展趋势，未来移动业务将呈现出智终端—宽管道—云应用的大趋势，5G 引入新空口 (New Radio)、多天线 (Massive MIMO)、终端 4 天线等关键技术提供超大带宽（10-20Gbps）、超低时延（1ms）及超强移动性（500km/h）等网络能力确保虚拟现实完全沉浸体验，eMBB 场景的 3GPP R15 标准于 2018 年 6 月已冻结，支持 2019 年以云化虚拟现实为重点业务场景的 5G 首波市场商用。未来 5G 的目标网可为每用户提供随时随地平均 100Mbps 的无线接入服务，为 VR/AR 业务提供极致体验。2018 年初韩国运营商 KT 率先在 2018 平昌冬奥会运营 VR 直播业务，展示 5G 的大带宽、低时延特性。此外，中国三大运营商 2019 年部署 5G 预商用网络，为 VR 业务提供网络基础。

在承载网方面，虚拟现实业务对带宽、时延、丢包率提出更高要求，致使当前高汇聚、高收敛承载网络面临如下挑战。一是网络效率低，由于汇聚层次越多，收敛比越低，同步扩容的端到端设备规模越大。CDN 部署位置高，业务流经网络设备众多，发生拥塞的概率也越大，端到端时延随之增加。二是用户体验差，多种业务并发时，随着

网络利用率的提升，丢包和时延会同步提升。轻载网络中 **98.7%** 的突发丢包发生在从高带宽向低带宽过度的汇聚节点，相比其他业务，虚拟现实体验对丢包率的提升更为敏感。因此，**简化传统网络架构**可提供单纤超大带宽、最佳适配距离、流量无收敛、快速按需带宽的互联基础管道，提高承载网传输效率；**云网协同契合**承载网基于体验建网的新理念，可基于虚拟现实业务的每次交互进行保障，在用户真正使用业务时才分配对应的物理管道，在沿途各节点分配资源和调度，业务终止时资源立即释放，满足管道按需、动态、开放、端到端发展趋势；由于 IP 网络带宽多业务共享，FlexE 等网络切片技术面向虚拟现实这一时延敏感业务，可支持大颗粒带宽业务的物理隔离和捆绑，能够保障低时延业务服务等级；**边缘计算**借助网络边缘设备一定的计算和存储能力，实现云化虚拟现实业务的实时分发，如 VR 视频直播可以全视角流推送到网络边缘，再进行基于单用户视场角的信息分发；

在数据中心方面，随着云化虚拟现实发展，业界对数据中心网络提出新的要求，即更大数据流与更低业务时延，有关网络保障主要依赖拥塞控制技术，相比既有被动拥塞控制在高速网络下反馈速度变慢等不足，尚待发展初期的**主动拥塞控制**可精准明确拥塞状态和多业务流在接收端的并发情况，主动分配速率，满足虚拟现实应用的优先级、带宽、延迟、流完成时间等具体业务需求；在传输预处理方面，目前虚拟现实视频编码仍主要使用 HEVC，针对 VR 360 度视频的编码已经标准化，编码工具已经成熟。MPEG 等标准组织的研究表明，对应于

HEVC 的下一代编码技术（H.266）的压缩效率可提升 30%；在全视角（等质量）传输中，终端接收到的一帧数据中包含了用户可看到的空间球对应的全部视角信息。用户改变视角的交互信号在本地完成，终端根据视角信息从缓存到本地的帧中解出对应 FOV 信息，在播放器中矫正还原，因此仅由终端保证 20ms MTP 时延，不涉及网络和云端时延，这一技术路线对带宽要求较高，时延要求较低，属于“带宽换时延”。在内容准备侧，须编码全视角 VR 内容，准备多个质量的 VR 码流，用户端根据带宽选择 VR 码流播放，相当部分传送到用户端的内容数据因视场角影响损失浪费。在 FOV 传输技术中，终端接收到的一帧数据中不再包含空间球的无差别全部视角信息，而是根据用户视角姿态构造对应的帧数据，终端判断用户转头改变视角的姿态位置，并发送至云端，请求新姿态对应的帧数据。因此 20m MTP 既包含终端处理时延，也包含网络传输和云端处理时延，该技术对带宽要求降低，时延要求变高，属于“时延换带宽”，目前呈现由全视角传输的“带宽换时延”向基于 FOV 传输的“时延换带宽”方向发展。现阶段 FOV 传输技术存在以下三条发展路径，一是 Facebook 提出的金字塔模型，即在内容准备侧，针对每个视角准备一个全视角的质量不均匀的码流，模型底部为高质量用户视角区域，随着金字塔高度的上升，其他区域通过亚采样降低分辨率。终端根据用户当前视角姿态位置，向服务器请求对应的视角文件。缺点是多耗费头端 GPU 编码、CDN 存储和传输带宽。二是基于视频分块（Tile）的 TWS 传输方案，在内容

准备侧，将 VR 画面划分为多个 Tile，每个区域对应一个可以独立解码的码流，同时准备一个低质量全视角的 VR 码流，根据用户视点和视角只传输观看范围内容的高质量 Tile 视频分块和最低质量全视角视频。该方案被 MPEG 组织 OMAF 工作组采纳，并写入了新近标准文档《ISO/IEC FDIS 23090-2 Omnidirectional Media Format》中，被推荐采用。采用按需传输、部分解码策略的基于视点自适应 TWS 传输方案可有效解决 VR 业务应用中的高分辨率全景视频传输带宽、解码能力和渲染输出三大问题，根据用户的即时观看区域动态地选择传输视频分块，可以有效地节省网络流量开销。同时为保障用户转头时，无察觉地切换新视点高质量内容，传输一个质量基本可接受的全景视频流，因此 20ms MTP 可由终端保证，云端和网络只需保证切换新视点时，高低质量内容的切换时间在用户能明显感知的范围内即可（200-300ms）。三是 FOV+方案，FOV+不是全视角编码，而是不同视点的剪切视频流编码，通过传输比 FOV 角度略大画面来应对网络和处理时延，如以用户转头速度 120 度/秒估算，则 50ms 为 6 度，即各方向多传 6 度画面可以补偿 50ms 的 RTT 时延，降低交互体验对网络 VR 端到端时延小于 20ms 的要求；

在运维保障方面，虚拟现实运维基于产业发展和实现难度可分为手动、自动和智能运维层次。相比普通 4K 视频，在虚拟现实起步阶段，尚未构建 VR QOE 评估体系，基于用户投诉触发 VR 业务的手动运维。随着用户规模发展与评估体系构建，主动获取 VR 用户体验，

将运维经验工具化，实现“端-管-云”的自动化运维。在自动化运维基础上，引入机器学习等人工智能技术，提供具备主动性、人性化及动态可视的智能化虚拟现实运维能力，从而实现“无人”运维。综上，虚拟现实有关需求体验进阶与有关网络传输技术供给能力间演进关系如下图所示。





来源：根据中国信通院《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》修订

图 16 虚拟现实网络传输技术路标

“5G+VR”成为 2018 年面向虚拟现实网络传输领域的研讨热点。

拟现实将成为 5G 规模应用的关键场景，如在由中国信息通信研究院及 IMT-2020（5G）推进组主办的绽放杯 5G 应用征集大赛中，近三分之一初赛方案涉及虚拟现实。5G 网络高速率、低时延的特性适合承载虚拟现实业务，对 VR 终端而言，须考虑集成 5G 通信模块的峰值速率、5G 频段、IP 协议栈以及与 VR 产品集成方式等要求。目前，VR 集成 5G 通信模块有两种方式，一是 VR 终端直接使用 5G 通信芯片的套片进行一体化设计，该方式对 VR 终端设计要求较高。二是以 5G 通信模组方式集成，5G 通信模组可提供插拔式接口 minPCIe 或 M.2，也

可提供焊接方式接口 LCC 或 LGA，VR 终端可根据产品需要选择合适接口方式。此外，网络切片、边缘计算等 5G 基本网络能力赋能虚拟现实业务。中国移动在云 VR 应用白皮书中研究表明网络切片技术通过定制的端到端专用网络为云化虚拟现实应用提供专属网络通路，解决了云 VR 应用源视频采集端上行带宽大、用户侧无线资源竞争受限、网络部署成本高等问题。同时，通过按需提供端到端网络切片（包括接入网、传输网和核心网），提供端到端的通信质量保障。上行基于网络切片优先调度机制保障传输带宽，下行通过网络传输到用户侧进行观看，云 VR 应用源与用户侧之间通过端到端网络切片实现 SLA/QoS 保障，从而可以提供高交互多场景的沉浸感体验；CDN、边缘计算技术（MEC）解决了用户接收端多路转发推送的需求，MEC 根据业务时延需求的不同按需部署在网络中的不同位置，实现虚拟现实直播互动不同场景对网络时延的差异化需求，一定程度上避免因带宽和时延受限带来的眩晕感，且减少对回传资源消耗。



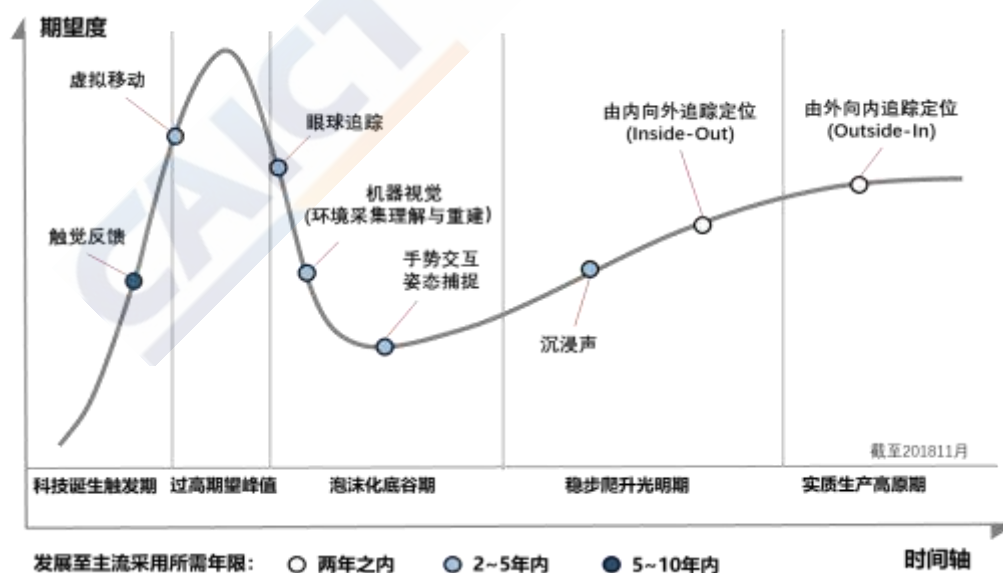
来源：中国联通 VR 业务发展白皮书

图 17 基于 MEC 平台实现 VR 直播

（五）感知交互：眼球追踪成为焦点，多感官交互技术路径

多元化

感知交互强调与近眼显示、渲染处理与网络传输等的技术协同，通过提高视觉、触觉、听觉等多感官通道的一致性体验，以及环境理解的准确程度，实现虚拟现实“感”、“知”能力的持续进化。当前，由内向外的空间位置跟踪已取代由外向内的技术路线，成为主流定位跟踪技术。继此之后，眼球追踪有望成为虚拟现实感知交互领域最为重要的发展方向之一，鉴于该技术与其他重点领域的融合创新潜力，业界对眼球追踪的研讨焦点已由两年前是否具备落地价值转变为何时能够落地。此外，感知交互技术在 VR、AR 领域的发展路线有所差异，就 VR 而言，侧重于多感觉通道交互。由于虚拟信息覆盖整个视野，重点在于现实交互信息的虚拟化。对于 AR 而言，由于大部分的视野中呈现现实场景，感知交互侧重于基于机器视觉的环境理解。



来源：中国信通院、华为

图 18 虚拟现实感知交互技术产业化进程

在感知领域中，由内向外追踪定位、手势交互、机器视觉等有望

在五年内成为虚拟现实主流技术。其中，追踪定位作为感知交互领域的基础能力，业界投入最大，且日趋成熟。2017 年基于光学和激光的由外向内（Outside-in）追踪定位技术实现产品化，并开始大量用于体验馆、线下门店等商业场景。2018 年由内向外（Inside-out）追踪定位技术取代 Outside-in，明确成为虚拟现实主流追踪定位技术架构。在 VR 领域，HTC、Facebook 于 2018 年发布其新一代一体机，标志着作为 Outside-in 技术的两大标杆企业转向支持 Inside-out 技术路线，与本就采用 Inside-out 架构的微软 WMR（Windows Mixed Reality）共同成为追踪定位的主要技术流派。在 AR 方面，基于终端平台的差异，手机式 AR 以苹果 ARKit、谷歌 ARCore 与华为 AR Engine 为代表的 AR SDK 普遍遵循单目视觉+IMU 融合定位的技术路线，可提供厘米级准确度和毫米级精密度定位输出；手势交互在 2016 年处于期望高峰，基于手柄的非裸手交互控制依然是主流方向，融合 Inside-out 6DoF 头动和 6DoF 手柄交互的所谓“6+6”交互路线成为发展趋势，与 2017 年主流“3+3”、“6+3”方式相比，提升了手柄 6DoF 跟踪交互能力，代表厂商有 Oculus Quest、Pico 及 Nolo、Ximmerse 等。此外，裸手交互的业界标杆是以 Leap Motion 和 uSens 为代表的双目红外相机方案，支持双手交互、单手 26DoF 跟踪，广泛用于一体式、主机式虚拟现实终端，而在手机式产品方面，华为 AR Engine 利用结构光器件实现了单手 26DoF 交互方案。目前，由于该技术在使用疲劳、识别率不高、缺乏反馈等方面的固有问题，且鲜见与之适配的落地场景，因此处于发

展低谷期。此外，作为交互操控的技术核心，随着深度学习的快速发展，交互范围也逐渐从手部拓展到肢体，过去基于随机森林的体感骨骼识别跟踪技术逐渐被基于深度神经网络的肢体关节点识别和轮廓分割技术所取代，以 **Wrnch**、**Facebook**、**华为 AR Engine**、**百度**、**旷视**、**商汤** 等国内外厂商先后推出可实时运行的人体骨骼点跟踪技术，广泛用于各类 **AR** 应用；**基于机器视觉的识别重建** 成为旨在提升虚拟现实真实感的新兴热点，其中稠密重建技术发展较为迅速，除混合现实终端标配 **ToF**（**Time of Fight**，飞行时间）摄像头提供稳定的高精度深度图像外，**苹果**、**华为**、**OPPO** 等手机厂商开始采用结构光、**ToF** 器件，这为识别和重建带来了有力的硬件基础，预计相关投资和内容开发商将快速增加。在 **VR** 领域，识别重建应用场景较少，**微软**、**Facebook** 等探索涉及混合现实功能的技术路线。在 **AR** 领域，**华为 Mate20 Pro** 利用前置结构光器件进行小物体实时扫描建模，**Magic Leap One** 率先实现了基于几何理解的实时 **Mesh** 重建以及根据重建 **Mesh** 进行虚实遮挡，确定了多目 **RGBD** 视觉定位的技术路线，实现了准确度和精密度的“双毫米级”。作为识别重建的技术内核，基于深度学习的语义分割开始在识别重建中频繁采用，准确获取图像中的物体类属以及对应的边缘 **Mask** 与 **Mesh** 信息，是未来有针对性进行重建的必要步骤。此外，肢体姿态捕捉配合人体重建成为 **2017-2018 年 CVPR**、**SIGGRAPH** 等国际会议的重点课题，相关文娱社交类应用相对丰富；

在交互领域中，沉浸声场、眼球追踪与虚拟行走等有望在五年内

成为虚拟现实主流技术。其中，**沉浸声**方面，业界愈发重视声音在虚拟现实领域沉浸体验上的技术潜力，通过设计头部相关传递函数（HRTF）强化视觉和听觉的一致性，以实现逼真的声音方位与远近效果，同时模拟基于反射、遮挡、隔绝封闭、混响回声等声音氛围。目前，英伟达、杜比、微软、谷歌、高通、Unity、Facebook 及众多初创企业等纷纷布局，旨在打造符合听觉与声学特性的沉浸式声场，预计沉浸声有望在 5 年内成为主流（基于个性化 HRTF 的沉浸声将在 10 年内成为主流）；**触觉反馈**带来的虚拟现实沉浸体验提升已成为业界共识，随着苹果 Taptic Engine 技术在其各类产品中的推广应用，Oculus、任天堂等采用反馈时延更短的线性马达取代传统廉价的转子马达。虽然技术标杆 Immersion 公司为日益增多的虚拟现实企业提供触觉反馈技术，业界关注点聚焦通过震动和机械力模拟触觉反馈，超声波和静电力模拟触觉质地的探索尚在实验室阶段；**眼球追踪**之所以成为继 Inside-out 追踪后业界重兵投入、产业化进程加速的技术领域，除眼动控制可用于内容交互设计创新、用户兴趣点分析外，更重要原因在于该技术与其他关键领域融合创新的发展潜力。在近眼显示与渲染处理领域，眼球追踪+变焦显示（Varifocal）+注视点渲染的技术组合，可实现基于 GPU 渲染的画面局部模糊，兼顾渲染负载优化，解决了辐辏调节冲突这一重大技术痛点。在感知交互领域，眼球追踪根据人眼扫视抑制的特性，促进虚拟行走技术的发展。在考虑眼球追踪成本问题的情况下，预计该技术将在五年内成为主流；**虚拟移动**旨在填补目

前 VR 领域移动交互与视觉内容适配这一技术空白，可实现大空间行走、行走重定位等，2018 年这一新兴领域获得了日益增多的投入。

类别	传送	完全步态		模拟步态		运动平台		其他 [飞行/潜水等]
细分技术		真实行走	行走重定向	单向跑步机	全向跑步机	1-5 DOF	6 DOF	
示意图								
描述	有限场地，无行走	有限场地，有限行走	有限场地，无限行走，沉浸感强，技术复杂	无限行走，无实际位移，沉浸感不足	无限行走，无实际位移，沉浸感提升	平台运动，用户不参与	平台运动，用户不参与	多元化用户运动姿态
产品化案例	主流标配	HTC FACEBOOK	VOID	/	Omni、KAT 千元	欧的	丰田	Amphibian

图 19 虚拟移动领域各类细分技术路线



来源：根据中国信通院《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》修订

图 20 虚拟现实感知交互技术路标

（六）内容制作：内容交互性不断提高，助推媒体采编播创新

作为新一代人机交互界面，虚拟现实契合时下新媒体所追求视觉沉浸感与用户交互性的发展趋势。虚拟现实内容制作技术开始广泛应用于纽约时报与 CNN 等纸媒电视、YouTube 与爱奇艺等互联网视频平台、Verizon 与中国移动等电信运营商视频网络，并在“采、编、播”环节注入了创新活力。

内容采集环节，由于虚拟现实可提供 360 度、720 度的全景视频，双目、阵列乃至光场式 VR 相机取代了传统画面视角受限的单目摄影机，可采集 4K-12K 全景分辨率的 3D 视频内容。此外，由于 360 度无死角拍摄，编导与摄影师等工作人员站位、观众视觉兴趣点引导、多相机同步控制等新问题对内容采集带来挑战；

内容编辑环节，由于虚拟现实相机涉及多镜头同时拍摄，从而产生出视频间精准拼接缝合这一全新内容编辑技术。根据实现方式的不同，可分为实时、离线拼接与自动、手动拼接等。英伟达近期推出其拼接编辑软件 VRWorks360，可实现单一 VR 相机中多达 32 个拍摄镜头的跨平台的实时拼接。此外，由于虚拟现实强调观众沉浸感与互动性，在内容制作方面开展了相关基于后期特效合成的微创新。例如，在既有真实拍摄内容上，基于机器视觉与三位建模，引入观众虚拟化身参与其中。同时，通过 3D 沉浸声、混合云渲染等方式附加高保真的虚拟图像，从而实现内容制作的“虚实融合”；

内容播放环节，由于虚拟现实需要解决如何将内容编制时的平面媒体格式转化为用户最终看到的全景球面视频，因此运用了传统视频没有涉及的投影技术。其中，等角投影是 YouTube、爱奇艺等采用的主流技术，但存在画质失真、

压缩效率低等问题，多面体投影成为发展方向。此外，现有操作系统需要优化创新以适配虚拟现实内容应用的体验要求。

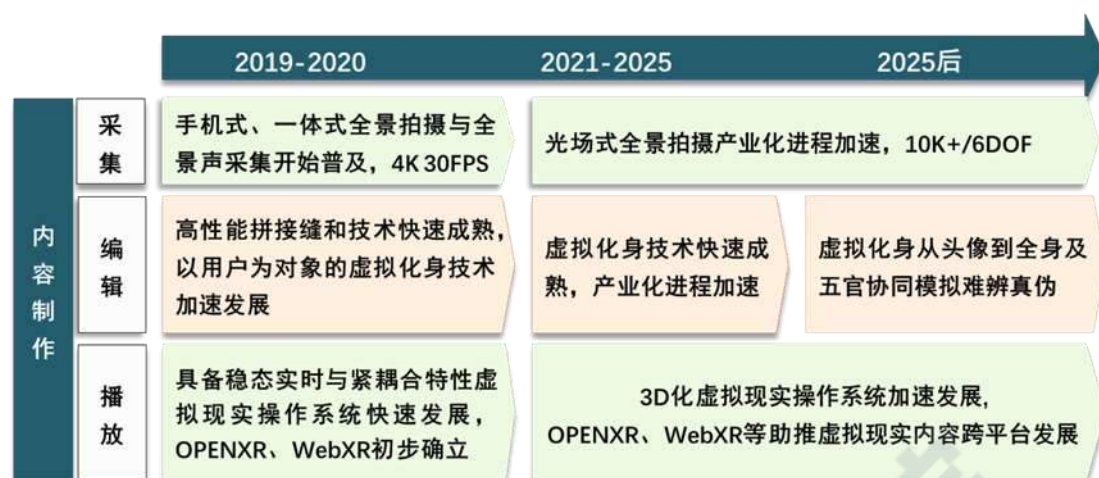


来源：中国信通院

图 21 虚拟现实内容制作技术产业化进程

全景拍摄、全景声采集、拼接缝合、虚拟化身、WebXR、操作系统成为虚拟现实内容制作发展热点。其中，在内容采集方面，用于全景拍摄的虚拟现实相机可分为手机式、一体单目式、一体多目式、阵列式、光场式等。目前，前三类分别占据全球虚拟现实全景相机收入份额的 7%、80%与 11%。手机式本身计算处理能力有限，须外接手机使用，不具备拍摄 3D 视频能力，代表产品如 Giroptic iO Pop。一体单目式可独立与手机使用，通常可在本地自动完成拼接缝合，但无法拍摄 3D 视频，如 Ricoh Theta V、Z Cam K1 Pro 等。一体多目式可拍摄 3D 视频，消费级终端通常提供 4K 全景视频，专业级设备以拍摄 8K 视频为主，如 Yi VR180、Insta360 Pro 等。阵列式基于分辨率和低光环境等

拍摄考虑可进一步分为 GoPro Omni 等标准式和采用 RED Dragons 等专业级摄影机的自定义式；光场式通过光场或激光雷达可实现 6DOF 的 3D 全景视频拍摄，进一步增加画面沉浸感，且缓解用户眩晕，海量数据存储与压缩成为这一技术路线的主要挑战，代表产品有 HyperVR 等。综上，全景相机发展呈两极化演变态势，一方面为方便更多 UGC 快速便捷的制作虚拟现实内容，会朝着小型化、易用化、多功能、机内拼接、降低成本方向发展。另一方面为满足高端 PGC 生产高质量视频内容，更高分辨率、自由度、更多视频格式与斯坦尼康等拍摄辅助器材支持成为又一发展路线。全景声麦克风（Ambisonic）可以采集单点所有方向的声音，作为一项既有拾音技术随着虚拟现实的兴起被业界关注，目前谷歌、Oculus 已将其作为 VR 的声音格式；在内容编辑方面，除全景视频所须的拼接分割外，为进一步增加内容互动性与社交性，可通过虚拟化身技术实现以机器或是以真实用户为对象的模拟，目前面向虚拟现实、以用户为对象的虚拟化身技术主要有语音口型适配、面部表情追踪、基于 2D 照片的 3D 建模以及人体 3D 扫描四类技术路线；在内容播放方面，WebXR 技术旨在解决跨平台内容分发问题，让内容回归内容本身，对于目前硬件终端、内容服务商碎片化的发展现状，这一跨平台特性助推内容生态加速成形，2017 年 Oculus 开源其 WebVR 开发工具 ReactVR，以帮助开发者通过网页而非某类虚拟现实终端来部署 VR 内容，目前 WebXR 技术向基于 ARCore 的 WebAR 及后续涉及 Hololens、Magic Leap 等终端平台的 AR 方向发展。



来源：中国信通院

图 22 虚拟现实内容制作技术路标

3D 化与实时性成为现有操作系统技术面向虚拟现实优化创新的重要技术方向。正如 iOS 基于 UNIX，Android 基于 Linux，虚拟现实 OS 并非独立于现有操作系统发展而来，在操作系统和底层软件上继承了移动端特性，是基于移动 OS 定制优化的嵌入式实时系统。一方面，结合近眼显示等特点，虚拟现实 OS 有望成为首个 3D 化操作系统。当前移动 OS 主要面向传统手机应用设计，用户视野较小，UI 控件和 Layout 布局方式均面向 2D，对多任务系统的执行并不迫切。虚拟现实 OS 可能不再有“桌面”概念，用户目之所及即为操作界面，更加强调空间思维，在 3D 图形渲染、3D 内容传输、3D 显示乃至基于 gLTF 等新兴 3D 格式等方面变化甚巨。另一方面，结合感知交互等需求，虚拟现实 OS 凸显稳态、实时、紧耦合的发展特性。传统移动 OS 是一个“待命式”系统，系统基于用户有意识主动操作进行响应，且各子系统相对独立，如传感与渲染子系统、图像输入与渲染子系统，并无传感器直接同渲染处理耦合，系统设计存在诸多缓存逻辑。虚拟现实

OS 更像稳态系统，不论用户主动操作与否，从姿态到渲染保持实时稳定运行，20ms MTP 时延约束成为其中核心技术挑战，体现在如下方面。在图形渲染方面，由于复杂合成系统将带来过高渲染延迟，不同于移动 OS 用户界面 2D 图层合成的方式，虚拟现实 OS 渲染方式存在显著差异。在传感融合方面，移动 OS 交互方式以触屏为主，基于这一交互技术的事件体系在虚拟现实无法使用，此外，移动 OS 系统架构中缺少高精度高频率的传感融合实现，架构的复杂性导致传感延迟较高。在内容应用方面，移动 OS 图形驱动均为 C++ 库，上层应用采用 Dalvik 虚拟机作为运行时，与实际图形驱动较远，效率较低，且移动 OS 的事件回调机制难以满足虚拟现实应用的实时性需求。

三、产业发展趋势

（一）虚拟现实产业初具规模

虚拟现实产业链条长，参与主体多，主要分为内容应用、终端器件、网络平台和内容生产。内容应用方面，聚焦文化娱乐、教育培训、工业生产、医疗健康和商贸创意领域，呈现出“虚拟现实+”大众与行业应用融合创新的特点。文化娱乐在企业数量上占据主导，培训类的内容企业成为行业应用中的主要力量，房地产、营销、时装等成为商贸创意的主要方向，工业、医疗解决方案以教学、训练为主，实际参与生产与临床环节的应用仍待技术上的进一步成熟；终端器件方面，主要涉及一体式与主机式头显整机、追踪定位与多通道交互等感知交

互外设、屏幕、芯片、传感器、镜片等关键器件。网络平台方面，除互联网厂商主导的内容聚合与分发平台外，电信运营商以云化架构为引领，基于虚拟现实终端无绳化发展趋势，实现业务内容上云、渲染上云，以期降低优质内容的获取难度和硬件成本，探索虚拟现实现阶段规模化应用；内容生产方面，主要涉及面向虚拟现实的操作系统、开发引擎、SDK、API、拼接缝合软件、全景相机、3D 扫描仪等开发环境、工具与内容采集系统。



来源：根据中国虚拟现实应用白皮书修订

图 23 中国虚拟（增强）现实产业地图



图 24 虚拟现实产业结构

全球虚拟现实市场快速发展，内容应用成为主要增长点。对上文虚拟现实产业结构细分市场统计汇总可知（上图中绿色部分），2018 年全球虚拟现实市场规模将超过 700 亿元人民币，同比增长 126%。其中，VR 整体市场超过 600 亿元，AR 整体市场超过 100 亿元，预计 2020 年全球虚拟现实产业规模将超过 2000 亿元，其中 VR 市场 1600 亿元，AR 市场 450 亿元。预计 2017-2022 年全球虚拟现实产业规模年均复合增长率超过 70%，VR 为占据主体地位，AR 增速显著。从产业结构看，终端器件领域市场份额占据首位，内容应用市场快速增长，其中工业、医疗、教育等行业应用市场规模将由 2018 年的 8% 升值 2020 年 19%。

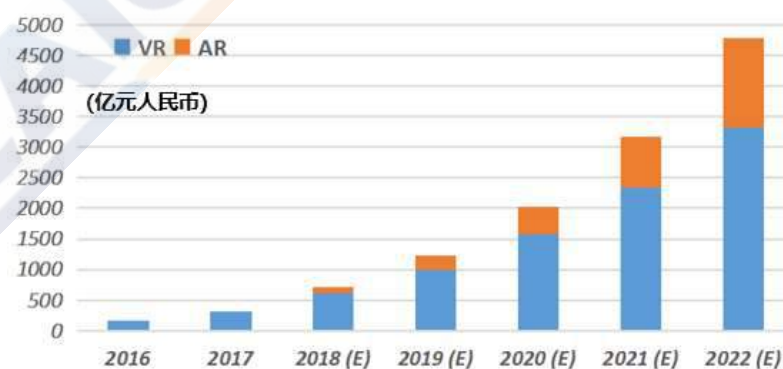


图 25 全球虚拟现实市场规模（按终端形态划分）

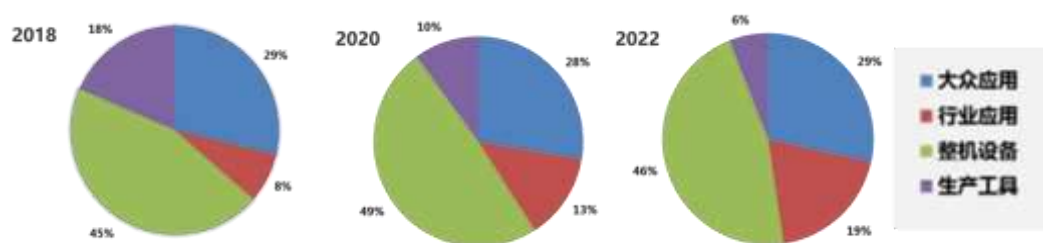


图 26 全球虚拟现实市场规模（按产业结构划分）

（二）投资趋缓表明虚拟现实进入理性发展阶段

经过谷歌眼镜的产业预热，2014 年 Facebook 以 30 亿美元收购 Oculus，释放重大产业信号，此后全球资本密集投向虚拟现实这一领域。随着 2016 产业元年 Sony、HTC 和 Oculus 第一代面向大众消费市场 VR 终端“三剑客”的上市（PSVR、Vive、Rift），以及 Microsoft 推出面向垂直行业市场的 AR 终端 Hololens，资本市场投资热潮进一步高涨，各大 ICT 巨头积极提出有关发展战略，众多科技初创公司纷纷涌现，2017 年苹果、谷歌相继推出了基于 iOS11、Android 7.0 (Nougat) 平台的 ARKit、ARCore，将 AR 技术赋能数亿部手机与平板。《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》总结了 2016 年虚拟现实风险资本市场的高速发展。更加深入调研表明，当前“虚拟现实产业临冬论”（2017 年投资增速负增长）反映出虚拟现实发展已由概念热炒进入理性调整阶段，自 2016 年进入高速发展之后，全球虚拟现实风险资本市场已经针对产业链条开展更加审慎明确的投入。（本白皮书统计的风险资本不涉及收购兼并、主营业务非 VR/AR 的投融资）

2018 年全球虚拟现实风险投资金额增长由负入正，投资频次变

化不大。据映维网统计，2016 年全球虚拟现实初创公司获得风险资本投资总额超过 170 亿元，虽然 2017 年风险投资金额约减少三分之一，但投资频次增长近二成，主要原因在于大众市场发展进程低于预期，众多厂商转向开拓虚拟现实在各类垂直行业中的创新应用以求发展存续，2018 年延续这一发展特点，全年风险投资频次基本稳定，投资总额调整回升至 135 亿元，单笔投资均值低于 2016 产业元年亿元规模，但较之 2017 年增幅高达 18%。



图 27 全球虚拟现实风险投资市场情况

VR、AR 分别占据风险投资频次与总额的主导地位。2018 年有 52% 的风险投资投向 AR 企业，36% 投向 VR 企业，12% 流入兼具 VR/AR 业务的公司。过去三年，尽管大部分资金流入研发难度更高、与行业融合更加紧密的 AR 领域，但投资频次表现出相反情况，即有 63% 的风险投资投向 VR 企业，24% 投向 AR 企业，13% 流入兼具 VR/AR 业务的公司，主要原因在于 VR 企业已步入大众消费的初期市场，千元级终端与 VR 内容日益丰富，VR 创业公司需要具备更高的现金流转能力。

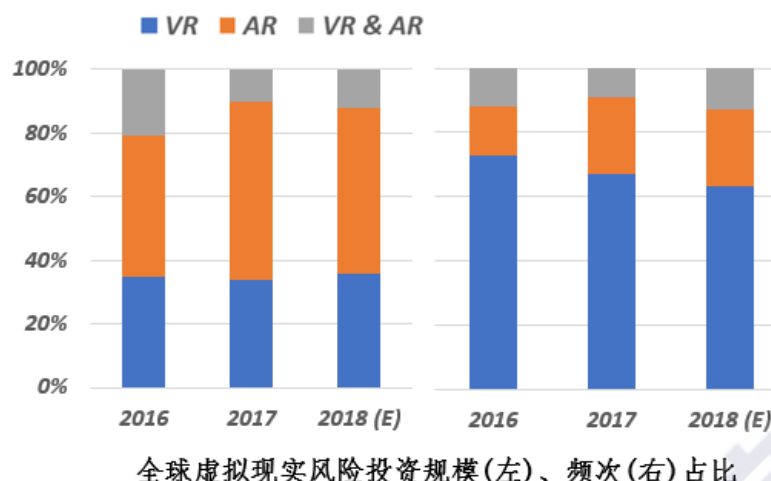
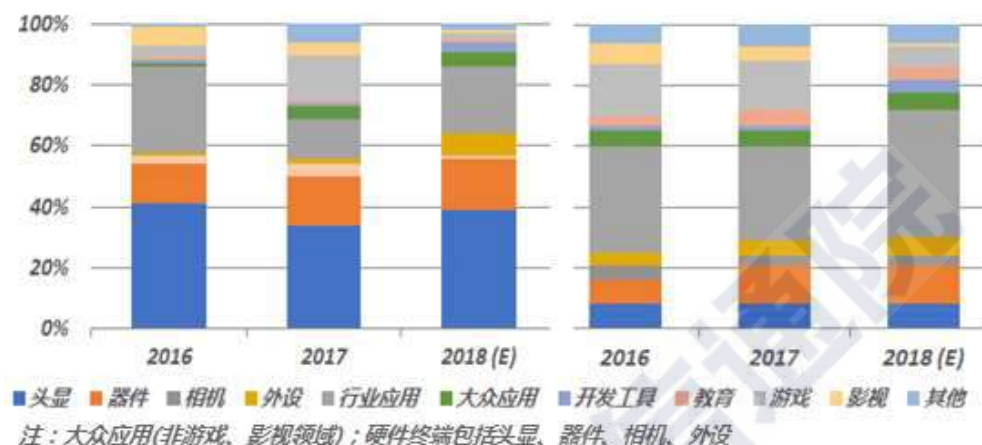


图 28 全球虚拟现实风险投资情况（按 VR/AR 终端业务形态划分）

硬件终端与行业应用占据全球风险投资产业细分领域主体。2018

年硬件终端领域在投资规模和频次占比分别为 64%和 30%，行业应用领域上述指标占比为 22%和 42%，除硬件终端和行业应用外，包含大众应用、开发工具、教育、游戏、影视及其他领域合计在投资规模和频次占比仅为 16%和 28%，两项指标均为近三年最低，投资方向进一步向硬件终端和行业应用领域聚焦，表明近期虚拟现实产业仍处于初级发展阶段，大众消费市场规模有限，资本关注度逐渐降低，如今年获得风险投资的游戏和影视制作公司数量均出现明显下滑，分别从 2017 年的 30 家、9 家降至 2018 年的 11 家、1 家。相比之下，变现能力更强的硬件终端和行业应用公司更易获得资本青睐。在硬件终端领域，头显、外设及器件公司在过去三年都获得比较稳定的资金支持，VR 市场出现了更多围绕外设技术的风险投资事件，提升硬件配置、改善用户体验成为市场关注重点，AR 市场投资聚焦光学器件，旨在加快突破近眼显示技术瓶颈；在行业应用领域，2018 年获得风险投资

公司数量占比超过四成，这些公司可面向营销、培训、房地产、家装、商贸等行业提供定制化内容开发和完整解决方案，下游客户相对明确且具备足够购买力，获得资本重点关注。



全球虚拟现实风险投资规模（左）、频次（右）占比

图 29 全球虚拟现实风险投资情况（按投资领域划分）

中美成为投资热点地区，国内资本进一步向重点公司聚集。从地域分布来看，2018 年获得风险投资的公司中，35%的总部位于美国，28%位于中国大陆，并分别获得 54%、25%的资金，中美继续保持风险投资市场主导地位。此外，2018 年我国获得风险投资的公司数量为 44 家，相比去年 77 家显著减少，但获得资金规模从 18 亿增长至 30 余亿，即企业平均获得投资从两千万增至近七千万元，且有十余家公司达到亿元水平，资本投向日趋聚焦于拥有核心技术的虚拟现实企业。

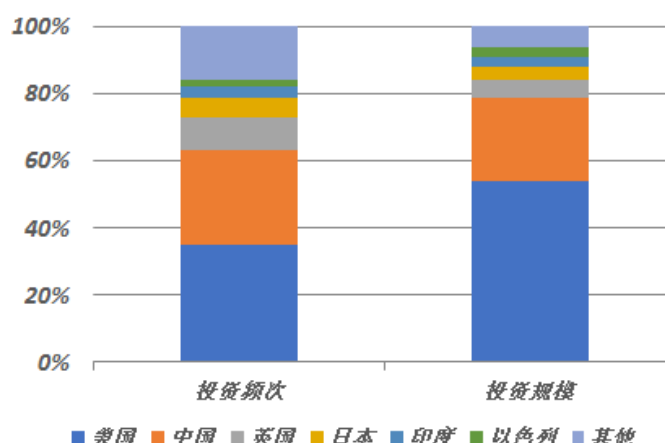


图 30 全球虚拟现实风险投资情况（按地域划分）

（三）内容与特定平台解耦加速生态成形

虚拟现实遵循先硬件后内容的发展节奏，内容跨平台趋势助推产业生态加速成形。HTC Vive、Oculus Rift 和索尼 PSVR 等第一代消费级虚拟现实终端的推出标志着硬件门槛大幅降低，产业发展路径开始由硬件导向向内容导向转变。为解决虚拟现实“有车没油”的产业痛点，如何提升高质量虚拟现实内容数量，降低内容开发门槛，加速内容生产流程成为推动虚拟现实由小众市场向大众普及的当务之急。业界普遍认为当用户规模达到千万量级时，虚拟现实产业生态将不再依赖于微软、Facebook、谷歌等大公司与著名内容工作室非盈利导向式的“输血”，而是基于广大内容开发者形成可自给、有利润的生态系统。然而，时下虚拟现实用户规模的增长成效被碎片化的运行平台分化稀释，开发者不得不就同样内容针对不同平台进行多次重复开发，进而延长了“内容匮乏期”的存续时长。针对这一产业现状，内容与特定平台解耦成为加速生态发展的重要趋势，具体可归纳为如下发展路径。一是跨多品牌终端平台，各品牌虚拟现实终端的专有 API 导致应用程序

缺乏互操作性，开发者须重新编写应用程序才能在不同品牌的终端上运行，业界通过创建开源标准 OpenXR，使得应用程序无需移植或重写代码即可进入各类虚拟现实终端平台。二是跨 PC 与虚拟现实开发软件，目前内容开发者在 PC 上开发虚拟现实内容，由于 VR 终端与 PC 存在显著差异，开发者不得不频繁经历“PC 上编写代码—戴上 VR 头显测试—摘下头显—回到 PC 修改或是继续”这一繁冗工序。为极大加速开发流程，Facebook 等业界标杆提出混合应用（Hybrid App）的发展模式，即同一个 PC 应用程序在 PC 与 VR 终端上均可运行。Hybrid App 使得开发者不必在 PC 与 VR 间频繁切换，且可在 VR 中以旋转拖拽等方式直接进行传统 PC 2D 开发界面中难以实现的诸多 3D 化操作。此外，由于基于 PC 现有主流软件开发，虚拟现实开发者无须额外学习成本，这有助于扩大 Hybrid App 的产业号召力，吸引 Autodesk、Adobe 等主流开发工具接受采纳。三是跨体验环境，虚拟现实体验需要借助特定硬件，安装支持软件，下载相关应用，WebXR 使得大众有望在浏览器上进行体验，无须关注内容是否与特定终端、操作系统、乃至 VR 或 AR 功能相适配，即通过浏览器联通诸多不同的体验环境。目前，微软 Edge、火狐、三星浏览器、谷歌 Chrome、苹果等积极探索 WebXR 发展之路，并在手机等移动平台上，结合苹果 ARKit 和谷歌 ARCore 等实现本地 AR 渲染。

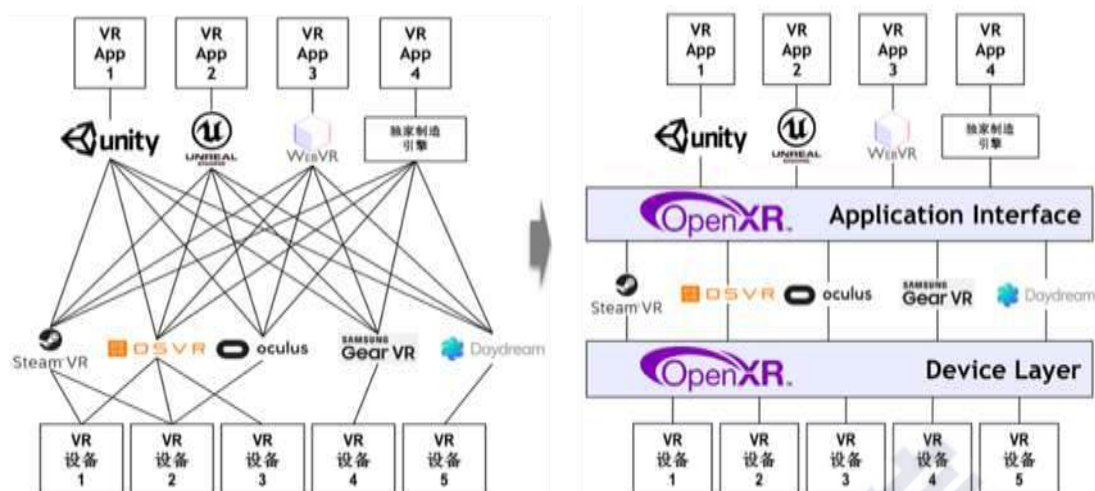
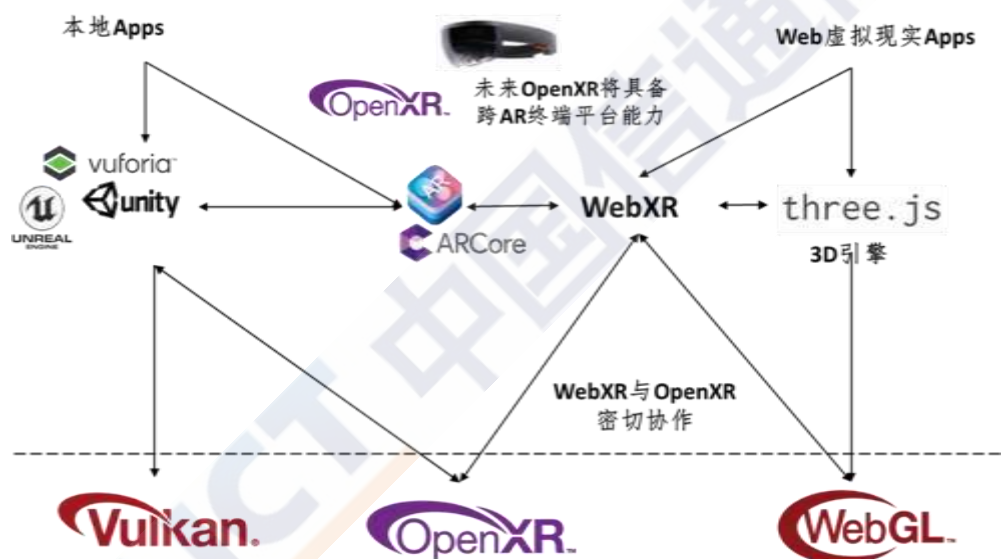


图 31 跨多品牌终端平台——OPENXR



来源：Khronos

图 32 WebXR 与 OpenXR 关联

（四）人工智能对虚拟现实的影响轨迹逐渐明晰

一直以来，人工智能与虚拟现实两大热点领域的融合发展为人乐道，此前产业焦点往往流于概念研讨层面，2018 年随着 Google、Facebook、微软、英伟达等 AI 巨头在虚拟现实领域的布局日益深化，人工智能对虚拟现实的产业影响轨迹日渐清晰，可归纳为如下方向。

一是渲染处理，深度学习渲染成为人工智能在图像渲染领域的重要创新，英伟达将其用于基于神经网络的画面降噪训练，且在 2018 年发布的 GeForce RTX-20 系列显卡中，推出了包含深度学习超采样(DLSS)功能的驱动程序，通过 Tensor Core 来推断高质量的抗锯齿效果，旨在通过深度学习来实现渲染内容边缘光滑。此外，Facebook 等尝试在进行注视点渲染的同时借助深度学习填充注视点之外尚待渲染的图像，最多降低了近 95%的渲染负载。二是内容制作，为进一步增进虚拟现实内容互动性与社交性，以真实用户为对象的虚拟化身成为发展重点。目前，腾讯已考虑开发 VR 版微信，Facebook 与 NextVR、LionsGate、AEG、NBA、SHOWTIME 等优质内容版权方合作，推出了名为 Oculus Venues 的虚拟现实应用，该应用可让用户与朋友、虚拟世界中成千上万的用户共同观看世界各地音乐会、演唱会、体育赛事等活动，用户在 Oculus Venues 里可以添加好友，且使用摄像头视角在场地中切换至与好友临近的座位，在该 VR 应用里，用户以虚拟化身这一形式出现。此外，为了进一步提高现有虚拟化身的真实感，业界在语音口型适配、面部表情追踪、基于 2D 照片的 3D 建模以及人体 3D 扫描方面积极布局。Amazon 在 2017 年推出了语音标记功能，允许开发人员通过将语音与面部动画同步实现语音与口型适配。作为拖拽式会话平台，Cognigy.AI 通过与 Unity 开发引擎集成，实现了将真实实时会话映射至虚拟店员。Facebook 通过对真实用户的面部表情追踪来渲染虚拟化身的表情，iPhoneX Animoji 使用面部识别传感器来检测用户面部表情

变化，并最终生成个性化的 3D 动画表情符号。Loom.ai 利用机器学习将 2D 自拍照转换为 3D 化的个人头像，使用公有 API 和视觉效果(VFX) 创建栩栩如生的可视化图像，然后对虚拟化身进行动画处理，用于各类应用程序。ItsMe 等公司通过全身扫描在一分钟内完成创建个人 3D 虚拟化身。

三是感知交互，人工智能已在图像识别等语义理解方面取得显著成果，在追踪定位等几何理解方面发展潜力较大。例如，Inside-out 之所以有望在短期内成为标配技术，一是由于高通等从处理器层面提供了对深度感知、空间追踪和手势识别的支持，实现 6DoF 追踪。二是低功率且产生密集稳定点云数据传感器以及芯片级即时定位与地图构建（SLAM）的出现。除联想 Mirage 等产品基于标志点的定位测距方式外，Inside-out 主要发展路线有基于单目、双目、RGBD 输入的各类 SLAM 算法及其变型。SLAM 架构在上世纪 90 年代趋于稳定，在 ORB-SLAM 等关键算法框架开源后，技术产业化进程持续加速。2018 年以高通和华为海思为代表的 SoC 提供商及英特尔 Movidius 等 VPU 厂商围绕 SLAM 技术开展了性能优化与算子固化工作，开始内置于高通、华为等手机芯片，未来高性能 SLAM 算法将广泛应用于各类虚拟现实终端，从而巩固 Inside-out 追踪定位技术的主导地位。

（五）知识产权竞争态势趋于激烈

虚拟现实领域专利稳步增长，中美成为主要的专利布局目标市场。截至 2018 年底，全球虚拟现实有效专利累计达 4.6 万个专利族，在过去的一年半时间里，新增专利近 1.7 万个。2000 年之前，专利主要

来自美、日、韩，我国从 2013 年进入快速增长期，2017 至 2018 年新增的中国大陆专利数量已经超越美国，跃居年度申请量第一位。从地域来看，美（37%）、中（30%）、日（7%）、韩（4%）是专利申请量最多且市场前景广阔的国家。



来源：中国信通院知识产权中心

图 33 虚拟现实各国专利申请量情况

国外巨头企业加快全球化布局步伐。从全球虚拟现实重点企业专利地域分布来看，微软、谷歌、索尼、三星、高通、英特尔、诺基亚等巨头企业的专利布局更加全球化，在进入海外市场前未雨绸缪，积极申请专利。与 2017 年的专利统计相比，更多欧美日韩企业开始关注印度市场。此外，华为、联想等一批中国企业逐步加强了其在海外的虚拟现实专利储备。

科技巨头专利布局各有侧重。对虚拟现实海量专利做聚类分析，创新主体关注的热点技术集中在眼球追踪、手势交互、虚拟化身、网络传输、近眼显示、视频编码与图像识别、3D 建模和头显终端等方向。高通和华为在网络传输方面具备专利优势，微软在头显设备、图

像处理、音频、识别技术方面专利储备较多，英特尔、谷歌、京东方分别在 3D 建模/网络传输/编码方面、交互/编码/头显终端、近眼显示方面提出大量专利申请。



来源：中国信通院知识产权中心

图 34 全球虚拟现实知识产权热点领域

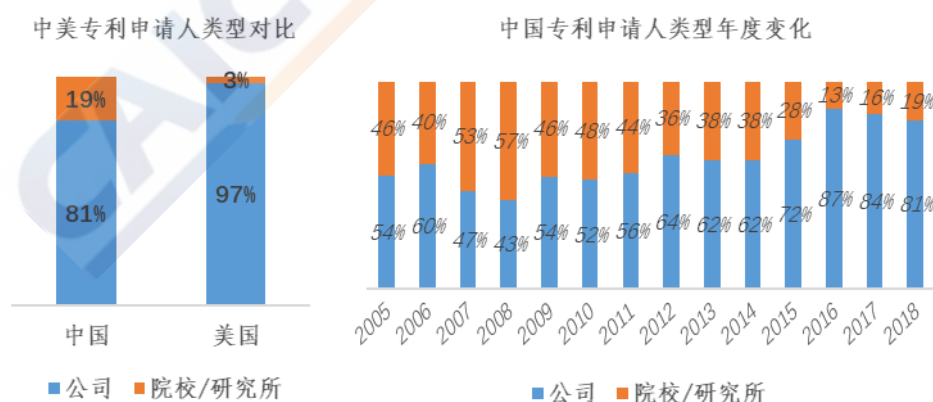


图 35 专利申请人类型对比图

中美专利主体类别不同，我国虚拟现实产业链对知识产权重视程度有所提升。从专利主体类别来看，我国高校和科研单位申请的专利

占比近 20%，显著高于美国 3%的水平，北京航空航天大学、浙江大学、北京理工大学、上海交大等高校成为国内虚拟现实专利申请的重要主体，而美国专利绝大多数来自科技巨头和初创公司，巨头公司专利布局时间早、地域广，而且除自身提交专利申请外，还通过并购等形式丰富其专利储备。近几年来，我国实体企业的申请量占整体比例有所提升，京东方、华为、腾讯、阿里巴巴、联想、小鸟看看、百度、歌尔、小米、中兴等企业申请量位列前茅，产业链参与主体的专利创造和保护意识提升。另外，对比两国专利法律状态，美国专利有 37% 获得授权，22% 处于实质审查阶段，中国专利有 30% 获得授权，处于实质审查阶段的专利占 45%。从专利类型来看，中国专利局受理的专利中发明专利占比 77%，其余是实用新型。相比无线通信领域，虚拟现实的实用新型专利占比较高，主要是对虚拟现实终端产品外形构造提出的专利，创新程度更高的技术发明专利相比略少。

知识产权纠纷暗流涌动，专利诉讼成为虚拟现实企业市场竞争的利器，中国企业出海面临挑战。市场是竞争各方发动知识产权诉讼的基本出发点，原告企业利用专利诉讼阻止竞争对手进入相关市场，通过知识产权诉讼周期长、诉讼费用高等特点打击竞争对手。例如，始于 2014 年的“虚拟现实第一案”——ZeniMax 诉 Oculus 和 Gear VR，涉及虚拟现实的知识产权归属、保密协议；2017 年 Techno View IP 在美国特拉华联邦法院分别起诉 OculusVR 和 Sony 侵犯 ImmersiON-VRelia 持有的“US8206218 3D videogame system”等三件与 3D 成像专

利；2017 年 WOW 虚拟现实公司起诉亚马逊涉嫌出售盗版头显。国内企业方面，2015 年至 2016 年期间，国内两家虚拟现实企业产生了专利侵权纠纷；2018 年，国内某知名企业在美国法院遭遇第三国企业专利侵权诉讼，被诉侵权专利曾早在数年前用来向其他代表性虚拟现实企业发起诉讼。种种迹象表明，专利诉讼已经成为虚拟现实企业市场竞争的利器，预计未来随着产业竞争加剧，虚拟现实很有可能由于不被现有的各大科技公司已签署的知识产权协议所覆盖，从而变成潜在的继智能终端后主要的专利战场之一。此外，虚拟现实产业除了与软硬件相关的技术专利侵权问题外，存在内容版权、平台责任以及用户使用数据的隐私保护安全性等问题挑战。

（六）5G 助推虚拟现实业务繁荣

5G 产业链日臻成熟，世界各国相继制定 5G 相关政策推动产业发展和网络建设，支持 2019 年 5G 商用部署，2020 年开始规模商用。中国从 2G 跟随，3G 突破，4G 同步转变到 5G 时代的领跑者，在标准和技术话语权等方面影响力日益凸显。在 5G 网络部署进展及 VR 业务早期应用方面，2018 年我国三大运营商在超过五个城市部署百余 5G 基站，试点虚拟现实等创新业务。韩国在 2018 平昌冬奥会期间展示了 5G VR 直播，其三大运营商在 2018 年 7 月发表联合声明，表示将于 2019 年 3 月的“韩国 5G 日”推出 5G 商用网络。日本已测试虚拟现实等 5G eMBB 典型业务，总务省（MIC）于 2018 年发布了 5G 频谱策

略，计划 2019 年发放频谱，并在 2020 年东京奥运会前实现 5G 正式商用，进而开通奥运会 VR 直播业务。

5G 丰富 VR 网络接入方式，促进虚拟现实业务繁荣。5G 可提供超大带宽，超低接入时延和广覆盖的接入服务，从技术上满足虚拟现实业务沉浸体验的要求。5G 天然具有移动性和随时随地访问的优势，为 VR 业务提供更加灵活的接入方式。5G 产业链条成熟度高，中美英日韩等国均加入 5G 第一波网络建设，高通、海思和三星于 2018 年底推出 5G 基带芯片，支持 2019 年 5G 终端上市，且 VR 终端具备灵活集成 5G 通信模块的能力。5G 使得 VR 业务从固定场景、固定接入走向移动场景、无线接入，从技术实现上赋能虚拟现实多元化业务场景。

四、典型应用案例分析

（一）云化虚拟现实催化应用落地普及

用户体验、终端成本、技术创新与内容版权成为 Cloud VR 发展动因。用户体验与终端成本的平衡是目前影响虚拟现实产业发展的关键问题。低成本终端确实有助于提升 VR 硬件普及率，但有限的硬件配置也限制了用户体验，影响了消费者对 VR 的持续使用和真正接纳。另一方面，以 HTC VIVE、Oculus Rift 等为代表的高品质 VR 设备，其配置套装价格高达数千乃至万元，过高的终端成本明显制约了高品质 VR 的普及。在这一背景下，Cloud VR 有望切实加速推动 VR 规模化应用，预计 2020 年，VR 用户渗透率将达 15%，视频用户渗透率达 80%。

通过将 VR 应用所需的内容处理与计算能力置于云端，可有效大幅降低终端成本，且维持良好的用户体验，对 VR 业务的流畅性、清晰度、无绳化等提供保障。同时，随着 VR 终端逐渐普及，VR 内容须不断适配各类不同规格的硬件设备。在 Cloud VR 架构下，VR 内容处理与计算能力驻留在云端，可以便捷地适配差异化的 VR 硬件设备，同时针对高昂的虚拟现实内容制作成本，也有助于实施更严格的内容版权保护措施，遏制内容盗版，保护 VR 产业的可持续发展。此外，由于 Cloud VR 的计算和内容处理在云端完成，VR 内容在云端与终端设备间的传输需要相比 4G 时代更优的带宽和时延水平，利用 5G 网络的高速率、低时延特性，电信运营商可以开发基于体验的新型业务模式，为 5G 网络的市场经营和业务发展探索新的机会，探索 5G 时代的杀手级应用，加快投资回收速度。在这一过程中，运营商凭借拥有的渠道、资金和技术优势，聚合产业资源，通过 Cloud VR 连接电信网络与 VR 产业链，促进生态各方的共赢发展。

我国三大电信运营商积极开展云 VR 创新业务布局。中国移动通信集团福建有限公司于 2018 年 7 月开启全球首个电信运营商云 VR 业务试商用。2018 年 9 月中国联通发布了 5G+视频推进计划，将从技术引领、开放合作、重大应用、规模推广等四个方面启动 5G+视频未来推进计划，并以 8K、VR 为代表的 5G 网络超高清视频应用将构成未来中国联通 5G+视频战略核心。中国电信同期发布了云 VR 计划，将立足中国电信 1.5 亿宽带用户产业基础，依托于网络、云计算和智

慧家庭等方面的优势资源，联合合作伙伴制定云 VR 规范，加速推进云 VR 技术的产品化和商业模式创新。此外，为加速虚拟现实产业普及推广，工信部在 2018 年 12 月印发《关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》（简称《意见》），《意见》提出发展端云协同的虚拟现实网络分发和应用服务聚合平台（Cloud VR），旨在提升高质量、产业级、规模化产品的有效供给。

（二）云 VR 平台试商用案例

在中国移动集团“高起点、高品质、高价值”的家庭宽带发展战略下，福建移动借助家庭宽带从百兆向千兆演进的契机，率先落地了和云 VR 业务，为推动我国虚拟现实规模化应用积累了实践经验。福建移动于 2018 年 2 月成立云 VR 项目组，在 4 月 22 日首届“数字中国”建设峰会期间向公众展示开放，7 月 18 日，举行“和·云 VR 智引未来”产品发布会，开启全球首个运营商云 VR 业务试商用。福建移动和云 VR 业务基于千兆家庭宽带网络、智能组网和云化渲染技术，为大众带来多元化的虚拟现实应用体验场景。



图 36 福建移动全球首个运营商云 VR 业务试商用发布会

平台架构方面，福建移动云 VR 平台充分基于福建移动大视频平台基础架构进行改造和搭建，主要分为三部分：VR 视频平台（直播系统+点播系统）、云渲染系统、投屏系统。平台通信传输设计通过千兆网络和 5G 网络进行传输，平台前端对接统一定制化的 VR 一体机用户界面层。其中，VR 视频平台方面，包含直播和点播系统两个组成模块，直播系统由转码、编排和开放接口 API 三大系统功能组成，包含接流服务、编排、CMS、逻辑服务、系统列表服务、实施转码和出流服务等模块；点播系统主要是媒资管理系统，提供给编辑人员的集媒体资源管理、节目生产、频道管理于一体的综合性平台；云渲染系统方面，在云 VR 架构中，所有 VR 应用运行在云端，利用云端强大的计算和 GPU 的渲染能力实现 VR 应用运行结果的呈现，云端运行的画面和声音经过低时延编码技术的处理，形成实时的内容流。实时流通过分发，实现低时延解码并呈现于 VR 显示设备上，实现用户与应用的互动；投屏系统方面，主要实现 VR 一体机和 TV 大屏间的同步展示，

基于现网三屏融合平台消息通道，通过福建移动自有“八闽视频 APP”实现 VR 一体机与 TV 机顶盒配对绑定，完成投屏与互动控制。

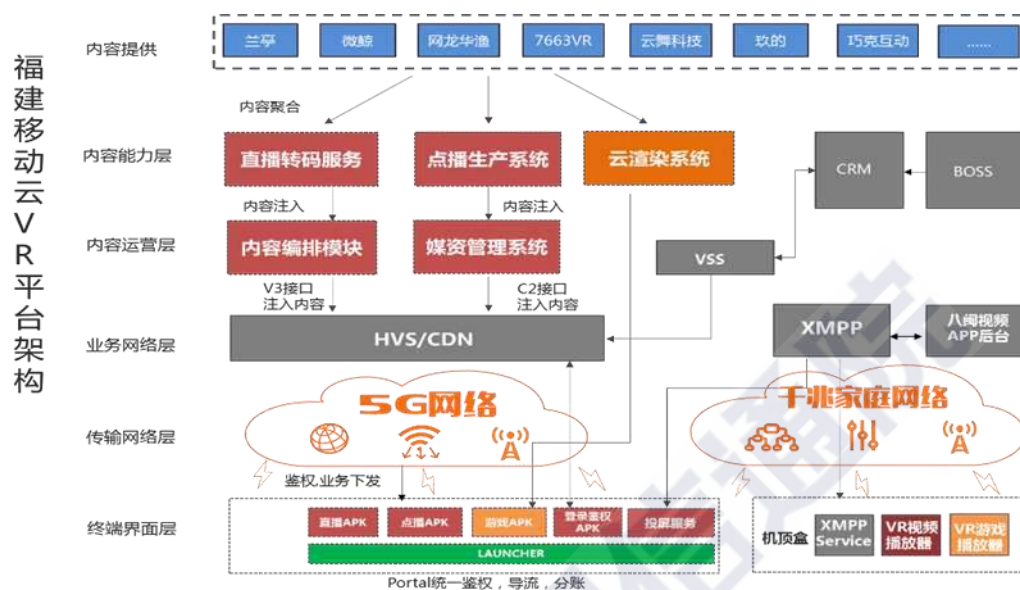


图 37 福建移动云 VR 平台架构

在内容应用方面，福建移动云 VR 业务依据 VR 内容特性以及大众用户需求特征，设计了五大内容场景。主要设置栏目有：“巨幕影院”、“VR 直播”、“VR 趣播”、“VR 教育”、“云 VR 游戏”。



图 38 福建移动云 VR 栏目内容设计布局

在网络保障方面，福建移动和云 VR 业务面向家庭宽带网络场景，

设计 DAA 带外提速组网方案，保障 VR 业务运行畅通无阻。由于现阶段多数家庭网络并未采用扁平化的组网设计，为保证 VR 业务承载质量，在典型的 VR 用户家庭场景，为保障上网、VR、TV 三种不同业务类型的使用需求，福建移动提供 DAA 带外提速解决方案，即在 BRAS 上针对识别的 VR 业务流进行 DAA 带外提速，使其不受上网套餐带宽限制，其中 VR 视频/游戏和上网流量独立限速，互不抢占，同时修改 VR 业务报文优先级以保障用户体验，从而实现高码率 VR 内容播放运行“不卡不顿不掉线”的高品质沉浸体验。

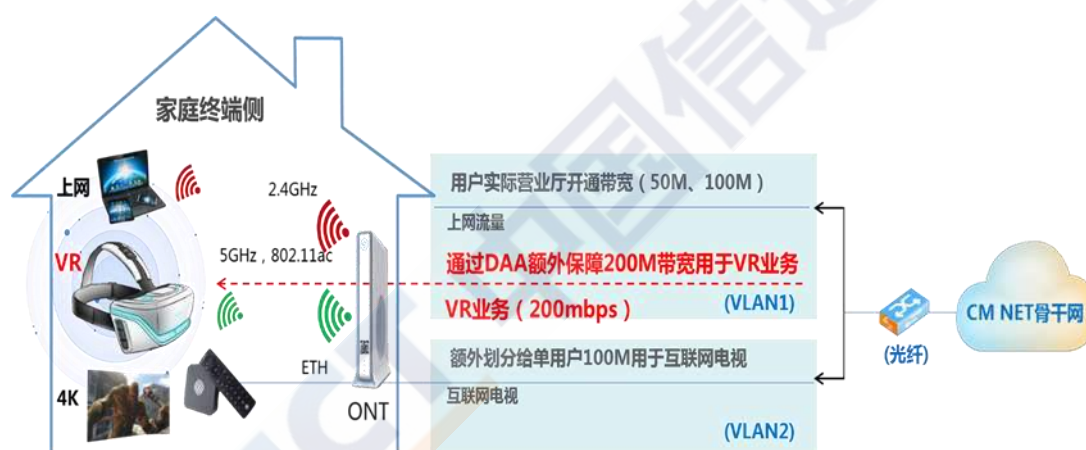


图 39 福建移动云 VR 家庭网络 DAA 方案

在终端设备方面，福建移动主推的 VR 业务系列设备均为福建移动定制版，相应终端厂商根据福建移动云 VR 产品的要求进行开发适配。目前，福建移动和云 VR 业务涉及 VR 一体机头显、无线路由器 AP、增值配件与机顶盒多类终端的产品适配。其中，VR 一体机头显是 VR 用户佩戴体验的核心设备，AP 用于支撑 VR 连接高速 WIFI 网络，增值配件包含辅配 VR 头显的交互手柄和定位外设等，可用于六自由度等更强交互体验的云游戏；电视机顶盒用于将 VR 头显中内容体验

同屏至电视端，这一多屏融合功能顺应 2018 年虚拟现实应用社交化的发展趋势，如 Facebook 于今年 9 月发布了 Oculus Go 的投屏功能。

在市场营销方面，福建移动云 VR 采取了“体验营销+试点推广+全面营销”的阶梯式营销规划策略，逐步培育布局 Cloud VR 大众用户市场。由于 VR 产品单价较高，对于个人家庭用户的使用门槛及使用条件要求也较高，福建移动采取免费体验、折扣策略等营销方式，逐步开拓 C 端用户市场。在 2018 年 9 月，福建移动通过体验营销的推广策略方式，面向首批 100 名体验用户在福州展开免费体验。将 VR 一体机与 AP，提供给体验用户免费使用半年，用户仅须签订免费体验协议即可参与活动。2018 年 12 月，在总结首期免费体验营销经验并对出现问题解决之后，福建移动正式面向福州地区开展试点推广的营销活动，通过全城招募千名“头号玩家”的方式开展试点用户发展工作。通过福州移动官微、电渠等以及在福州地区的电台、报广、公交车 LED、出租车 LED、地铁电视、公交车电视等线上陆续投放招募广告，吸引大批用户报名参加，通过线上报名，享受 5 折购买 VR 设备的优惠权益。



图 40 福建移动云 VR 福州地区“头号玩家”招募 H5 页面

五、我国发展虚拟（增强）现实产业面临的问题及建议

（一）我国面临的问题

虚拟现实技术研发缺乏针对性与原创性，对关键技术产业化进程敏感性不强。由于虚拟现实与手机产业链参与主体相近，业者通常参考手机产业较为成熟的发展思路。部分企业简单裁剪移植手机解决方案，缺乏针对感知交互、近眼显示、渲染处理等虚拟现实技术特性的研究，且研发模式以对 Facebook、微软等国外标杆的技术跟随为主。此外，多数虚拟现实企业存在以技术方案作为技术趋势的问题，片面追求单一性能参数，缺少对重点发展路径的投入储备与技术产业化进程的前瞻预判，致使企业发展容易受到短期市场环境波动的冲击。例如，在近眼显示领域，契合人眼生理特性的可变焦显示成为当下业界发展焦点，在这一技术方向上，我国与国际一流水平存在较大差距，且这一差距存在持续扩大的势头。在渲染处理领域，部分企业尚停留在注视点渲染是否有望成为发展趋势的怀疑中，而谷歌、Facebook、

英伟达等企业现已积极布局，旨在五年内使之成为业界主流技术。

缺少富于产业影响力的优质内容供给平台，产业融合创新程度不足。内容匮乏是虚拟现实产业发展初期的必然问题，如何尽快缩短这一“有车没油”的发展阶段成为当前要务。在谷歌、苹果、微软、Facebook 等 ICT 巨头平台化策略引导下，众多中小企业围绕虚拟现实产业链特定重点领域进行软硬适配的内容生产，研发并利用各类平台化开发工具，加速制作流程，提高内容质量，降低开发门槛。相比之下，我国虚拟现实生态圈呈现各自为战、小而散的现状态势，协同化的产业雁阵尚待成型，集约化的平台能力尚待提高，差异化、特色化的发展定位尚须明确。此外，我国虚拟现实产业存在就事论事的发展定势，与 5G、人工智能、工业互联网、新媒体等重大领域的融合创新程度有待增强。

应用推广以“展厅观摩式”为主，示范辐射能力不高。目前，部分虚拟现实应用示范停留在“看上去很美”的状况，即缺少规模化、产业级应用，内容雷同程度较高，用户体验以单机版、孤岛式为主，这影响了最终用户的买单意愿。此外，在各类“虚拟现实+”应用开发过程中，往往存在鸡同鸭讲的情况，一方面由于行业用户并不熟悉虚拟现实，难以清晰、明确定义所需功能，另一方面，虚拟现实解决方案提供商并不具备医疗、工业等垂直行业专业知识。因此，如何在现有虚拟现实技术水平与实现成本的约束下，弥合拉通产业断点，最大程度体现行业用户意图成为应用示范落地的主要挑战。

具言之，我国在近眼显示、渲染处理、网络传输、感知交互与内容制作等虚拟现实关键领域所面临的发展挑战如下。我国在虚拟现实近眼显示产业上与国际一流水平差距不大，但须强化对部分前瞻领域的技术攻关。其中，TFT-LCD 国内外不存在差距，借助 Fast-LCD 技术，液晶显示的技术生命力仍然存在，京东方已研发出响应时间在小于 5ms 的高分辨率、高刷新率的 VR 用液晶面板，成为 Facebook 2018 年发布 VR 一体机 Oculus Go 的屏幕供应商。快速响应液晶显示屏的优势主要表现为成本上对于 AMOLED 优势显著，现阶段量产 1000ppi 以上的 LCD 屏幕已无技术瓶颈，而 1000ppi 以上的 AMOLED 屏幕在量产性上有待技术突破，且存在潜在“烧屏”使用寿命问题；AMOLED 方面国内外差距不大，目前逐渐缩小；相对于 LCOS，OLED 在结构尺寸、图像色域和对比度、ppi、功耗、器件可靠性等方面有明显的优势，我国与国外代表厂商 Sony、eMagin 存在一定差距，但在减小，2017 年京东方投资 12 亿元的 OLED 项目落户云南，预计 2019 年试产；Micro LED 方面国内外存在一定差距。Sony、Apple、Facebook 等对此积极布局，旨在走出一条未来与 OLED 显示不同的技术路线。目前，我国 LED 市场具备一定规模，但总体营收不大，且集中于技术难度不高的大尺寸公共显示市场；光波导方面国内外存在一定差距，与国外厂商相比，我国技术积累主要集中在高校，企业专利申请量并未形成规模，技术成果产业化能力不足；在变焦显示及光场显示方面，国内外差距很大，且持续增大中。

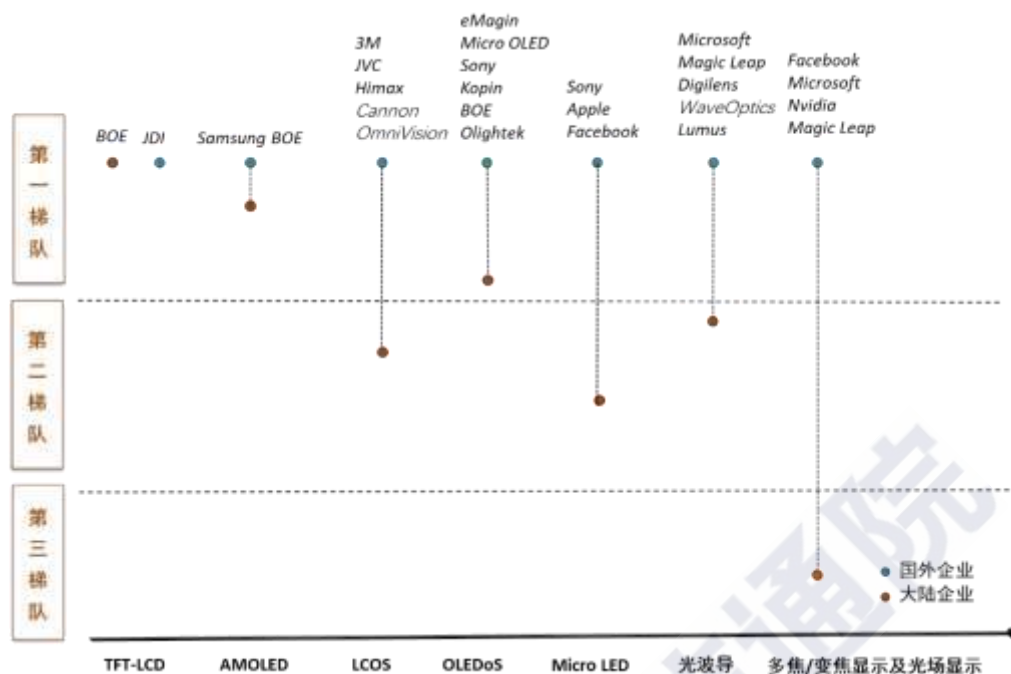


图 41 近眼显示国内发展外梯队视图

国内外企业在渲染处理领域差距显著。以美国为代表的国外主流企业在该领域的技术储备多、产品成熟度高，国内厂商在注视点渲染、异构渲染、实时光线追踪、深度学习渲染等前沿热点以技术跟随以及弥合应用创新技术断点为主。在虚拟现实云渲染领域，由于华为等通信设备厂商的推动，中国移动、中国电信、中国联通三大运营商积极探索，以及视博云、兰亭数字、深信服、平行云等特色企业的技术支撑，我国虚拟现实云渲染产业化进程处于国际前列。预计随着 5G 试点的稳步推进，我国该领域产业生态有望加速发展。

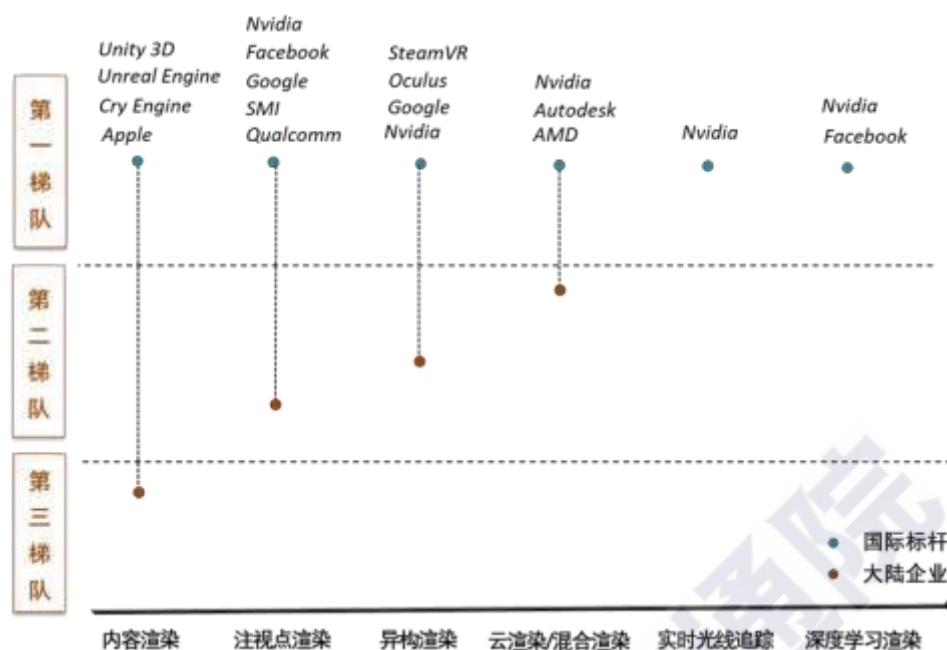


图 42 渲染处理国内外发展梯队视图

在面向虚拟现实的网络传输领域我国处于领先水平。5G 技术在专利、产品解决方案和商用进程等方面均处于全球领先水平，此外，在新型 Wi-Fi、10GPON、网络简化、拥塞控制、监控运维等方面基本同时包含国内和国外主流设备厂家，高通、Facebook 在虚拟现实投影、编码与非全视角传输方面具备一定优势。

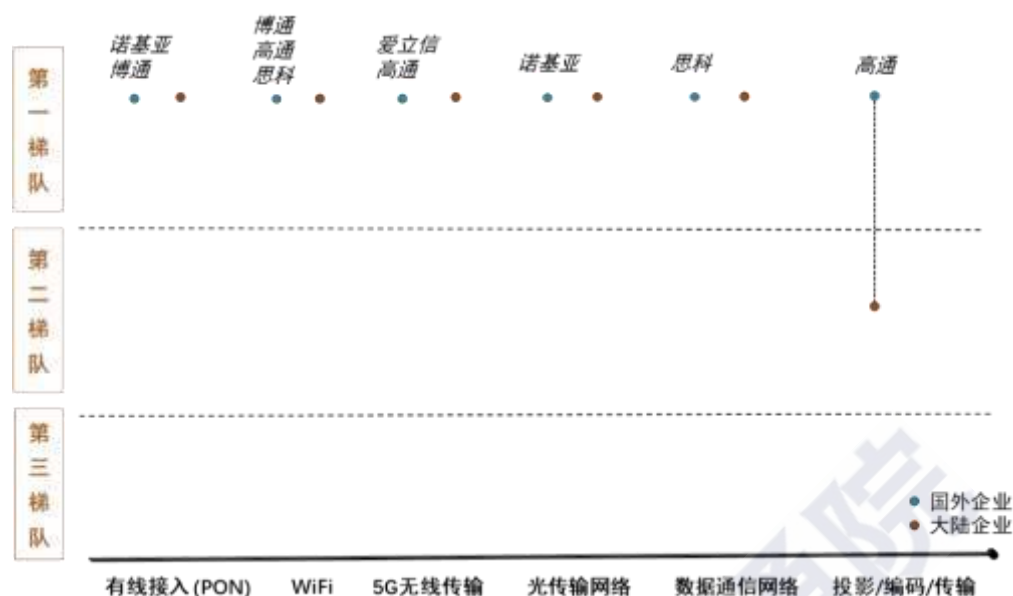


图 43 网络传输国内外发展梯队视图

国内外企业在感知交互领域存在一定差距。国外一方面持续以技术突破为主，苹果、Facebook、微软、谷歌等 ICT 巨头与初创企业在这一领域申请了大量专利，不断有软硬件产品的落地，如 Magic Leap One、Tobi 眼球数据追踪分析软件、Tobii Pro Lab VR360 等，以美国为代表的国外主流企业在感知交互领域的技术积累时间长、领域布局广，但由于这一领域有关技术尚未定型，且我国在人工智能方面具备产业基础，国外技术领先幅度尚不明显。另一方面，苹果 ARKit、谷歌 ARCore 感知交互开发平台具备先发优势，但随着华为 AR Engine 的发布，预计到 2019 年中支持 AR Engine 终端数量将超过 2 亿。

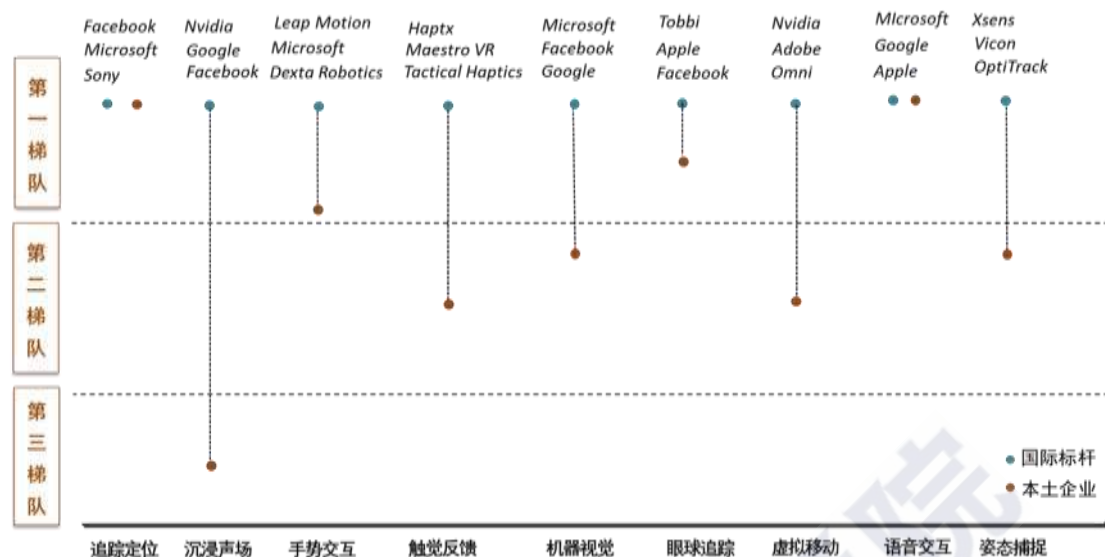
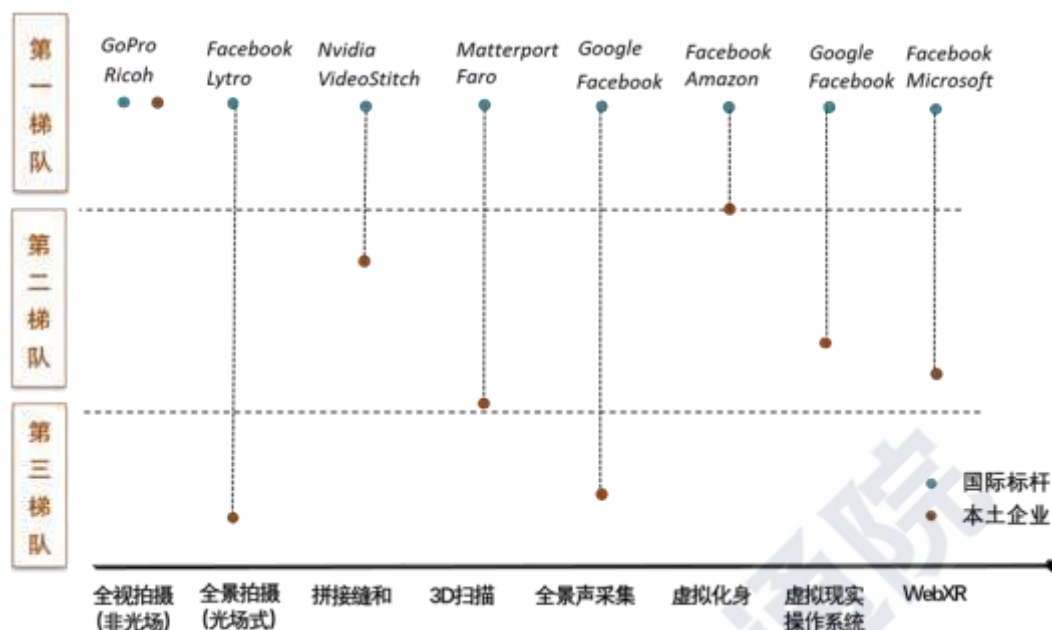


图 44 感知交互国内外发展梯队视图

我国在虚拟现实内容制作方面与国际一流水平差距各异，须强化对部分重点领域的技术攻关。目前，我国在虚拟现实应用示范与人工智能领域具备良好的产业基础，在非光场式全景拍摄、拼接缝合、以用户为对象的虚拟化身方面发展势头良好，在3D扫描、全景声采集方面技术产业化进程有待提高，在光场拍摄方面须进一步加强研究储备。此外，由于虚拟现实将带来OS架构创新，目前Google基于Android手机生态持续完善补充对虚拟现实进阶功能的支持，由于Facebook侧重虚拟现实一体机这一全新终端形态，相比之下对现有移动OS优化创新更加激进。国产厂商中，睿悦信息Nibiru等围绕基于Android的虚拟现实定制化平台进行操作系统优化创新。



来源：根据中国信通院《虚拟（增强）现实白皮书（2017 年）》补充

图 45 内容制作国内外发展梯队视图

（二）发展建议

牢牢把握技术创新与产业变革的窗口期，发挥虚拟现实带动效应强的特点，以技术创新为支撑，以应用示范为突破，以产业融合为主线，以平台聚合为中心，突破虚拟现实产业就事论事的发展定势，着力构建“虚拟现实+”融通发展生态圈。

强化技术预研与趋势预判，提高创新资源利用效率。支持具有技术优势的龙头企业联合高校、科研院所组建虚拟现实创新中心与实验室，避免闭门造车、孤立片面的创新模式；围绕近眼显示、感知交互、渲染处理、网络传输、内容制作等重点技术领域，加大研发投入，深化知识产权储备，跟踪技术产业化发展进程；坚持市场业务导向与技术断点弥合的研发思路，提高创新资源利用效率与产出水平，由传统

强调虚拟现实技术层面的创新性和价值点，转变为更加看重技术产业化的落地价值，推动各类创新要素在产学研用间的聚焦、流动与增值。

开展规模化应用试点，探索具备落地潜力的解决方案。紧抓 5G 时代机遇窗口期，以云化架构为引领，降低优质内容的获取难度和硬件成本，保护虚拟现实内容版权，突破业界惯有展厅级、孤岛式、小众性、雷同化的应用示范发展瓶颈，坚持走群众路线，在工业互联网、田园综合体等实体经济特色领域中，深化“虚拟现实+”行业应用的探索融合，实现产业级、网联式、规模性、差异化的应用普及之路；在文旅、教育、党建等具备业务变现能力、政府带头示范效应显著、方案相对成熟优良的细分应用领域，落地一批应用示范，“让能跑的先跑起来”。

推动产业集聚融合，优化扶持政策。打破传统彼此封闭、烟囱式的产业发展框架，串联起产业链不同领域的骨干企业，将虚拟现实深入的导入信息产业生态圈。围绕关键器件、整机终端、感知交互外设、内容拍摄、开发工具、编辑渲染、传输分发等领域，丰富产品有效供给，建立虚拟现实产业基地，发展一批面向新兴业态与跨界创新的市场主体，培育招引一批虚拟现实细分领域优势企业；充分发挥各类技术研发平台的先导作用，支持虚拟现实关键器件厂商与终端企业、内容聚合分发运营商、解决方案提供商间的协同创新，推动单点突破向产业集聚的转变；优化虚拟现实扶持政策，鼓励平台生态与产业协作，提高财税政策利用效率，实现由政策输血向政策造血的转变。

构建公共服务平台，深化发展支撑环境。以市场需求为导向，以开放合作为主线，构建虚拟现实软硬件工程体系，形成关键器件供应、试验验证、制造咨询等公共服务能力；建立针对虚拟现实领域的关键技术、产业链生态与内容应用数据监测平台，为产业运行分析、政策制定、知识产权、人才培养、外部合作、标准编制等奠定基础；提供面向用户体验、安全可靠、软硬件协同与性能指标的产品测评与检测认证服务；充分发挥资本和地方投资对新兴技术的激励作用，鼓励和引导地方加大资源投入力度，通过设立专项资金、政府和社会资本合作模式等多种形式，支持虚拟现实产业发展与应用推进。

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-62304839

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn



地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-62302232、010-62302310

网址：www.vrpc.org.cn